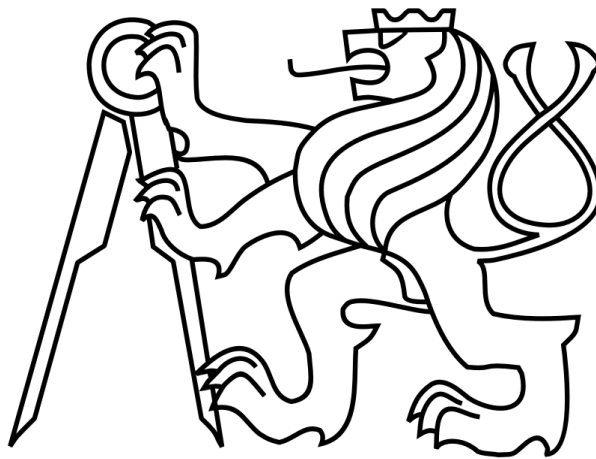


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



# Bakalářská práce

**Konstrukce stavitelného adaptéru pro fotografování na metalografickém  
mikroskopu Zeiss Neophot 32**

*Sebastian Duarte*

2024

BP 0294

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Duarte** Jméno: **Sebastian** Osobní číslo: **476614**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**  
Studijní program: **Strojní inženýrství**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Konstrukce stavitelného adaptéru pro fotografování na metalografickém mikroskopu Zeiss Neophot 32**

Název bakalářské práce anglicky:

**Design of an adjustable adapter for photography on a Zeiss Neophot 32 metallographic microscope**

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: Pro možnost zviditelnění vnitřní stavby kovů a slitin např. po obrábění nebo 3D tisku se používají metalografické mikroskopy. Cílem studentovy tvůrčí práce bude navrhnout a zkonstruovat pevný adaptér mezi precisním metalografickým mikroskopem Zeiss Neophot 32 a digitálním fotoaparátem Canon EOS 550. Toto řešení bude umožňovat ukládání digitálního obrazu z měření, což není aktuálně možné. Adaptér musí zajistit mechanické upevnění fotoaparátu s makroobjektivem tak, aby se snímáný obraz na matnici mikroskopu nacházel v rozsahu ostření objektivu. Ovládání fotoaparátu v automatickém režimu z PC bude zajištěno pomocí SW EOS Utility nebo jiného. V řešeršíní části se zaměří na přehled hlavních typů metalografických mikroskopů z pohledu mechanických a komunikačních rozhraní pro automatické snímání obrazu. V praktické části navrhne a zkonstruuje adaptér mezi metalografický mikroskop Zeiss Neophot 32 a digitální fotoaparát. Osnova: 1) Přehled řešení v oblasti fotografického snímání mikroskopových snímků; 2) Návrh konceptu mechanického připojení a datové komunikace mezi fotoaparátem SLR Canon EOS 550, mikroskopem Neophot 32 a ovládacím PC; 3) Výkres sestavy držáku + výrobní výkresy hlavních součástí. Rozsah práce: 40 - 60 stran; Rozsah grafické části: sestava a výrobní dokumentace

Seznam doporučené literatury:

Neophot 32 manual  
Janošta, P. a kol., Praktická metalografie, Kovosvil Ostrava, 2008, ISBN 645-80-903694-3-6

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Petr Mašek, Ph.D. ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

**Ing. Jan Malý ústav výrobních strojů a zařízení FS**

Datum zadání bakalářské práce: **18.10.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **02.01.2024**

Platnost zadání bakalářské práce: **15.09.2024**

Ing. Petr Mašek, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Petr Kolář, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem obsah diplomové práce vytvořený umělou inteligencí zahrnul do použitých informačních zdrojů a citoval ho podle běžných pravidel. Dále prohlašuji, že jsem uvedl v příloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne dne 2.1.2024

.....  
podpis

## Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své práce Ing. Petru Maškovi, Ph.D., se kterým jsem práci mohl průběžně konzultovat, a který mi pomáhal nacházet chyby a řešit problémy s prací. Dále bych chtěl poděkovat také Ing. Janu Malému za konzultaci práce a ostatním zaměstnancům Ústavu výrobních strojů a zařízení Fakulty strojní ČVUT v Praze, jmenovitě Ing. M. Fürbacherovi a Ing. T. Krannichovi, Ph.D. za pomoc s procesní a formální stránkou zpracování bakalářské práce ve zkráceném termínu.

V neposlední řadě bych rád poděkoval své přítelkyni za setrvalou podporu při studiu a tvorbě práce.

# Anotace

Autor:	Sebastian Duarte
Název BP:	Konstrukce stavitelného adaptéru pro fotografování na metalografickém mikroskopu Zeiss Neophot 32
Rozsah práce:	63 str., 45 obr., 7 tab.
Školní rok vyhotovení:	2023/2024
Škola:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	Ú12135 - Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí BP:	Ing. Petr Mašek, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Jan Malý
Zadavatel:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Využití:	Pořizování digitálních snímků na metalografickém mikroskopu Zeiss Neophot 32.
Klíčová slova:	mikroskop, metalografie, metalografický mikroskop, fotografie, fotoaparát, digitální fotografie, adaptér, Canon EOS 550D
Anotace:	Bakalářská práce se zabývá řešením metalografických mikroskopů a pořizováním digitálních snímků na nich. Následně navrhuje několik variant řešení adaptéru, ze kterých jednu vybírá. Ta je následně zpracována do podoby plnohodnotné konstrukce s výkresovou dokumentací.

# Annotation

Author:	Sebastian Duarte
Title of the bachelor thesis:	Construction of an adjustable adapter for photography on a Zeiss Neophot 32 metallographic microscope
Extent:	63 p., 45 fig., 7 tab.
Academic year:	2023/2024
University:	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department:	Ú12135 - Institute of Production Machinery and Equipment
Supervisor:	Ing. Petr Mašek, Ph.D.
Consultant:	Ing. Jan Malý
Submitter of the theme:	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Application:	Taking digital images on a Zeiss Neophot 32 metallographic microscope.
Keywords:	microscope, metallography, metallographic microscope, photography, camera, digital photography, adapter, Canon EOS 550D
Annotation:	The bachelor's thesis deals with the research of metallographic microscopes and the taking of digital images on them. Subsequently, it proposes several variants of the adapter solution, from which it chooses one. The chosen solution is subsequently processed into a full-fledged construction with drawing documentation.

## Obsah

<b>1</b>	<b>Přehled použitých veličin</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Přehled použitých zkratek</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>Úvod</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Cíle práce a postup řešení</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>Metalografické mikroskopy</b>	<b>15</b>
5.1	Metalografie . . . . .	15
5.2	Moderní metalografické mikroskopy . . . . .	17
5.2.1	Zeiss Axio Observer . . . . .	17
5.2.2	DMi8 . . . . .	18
5.2.3	VE-407 . . . . .	19
5.2.4	BA310 MET . . . . .	20
5.3	Neophot 32 . . . . .	21
5.3.1	Optický systém . . . . .	22
5.3.2	Schopnosti a přídatné vybavení . . . . .	23
5.3.3	Péče . . . . .	25
5.4	DSLR fotoaparáty . . . . .	26
5.4.1	Canon EOS 550D . . . . .	26
5.4.2	Existující adaptéry a uchycení fotoaparátů . . . . .	27
5.4.3	Objektiv EF 100mm f/2.8 Macro USM . . . . .	28
<b>6</b>	<b>Rozbor problému</b>	<b>29</b>
6.1	Požadavky . . . . .	29
6.2	Rozměry . . . . .	29
<b>7</b>	<b>Návrhy adaptérů</b>	<b>30</b>
7.1	Stojánek–matice . . . . .	30
7.2	Obruč–šroub . . . . .	31
7.3	Obruč–obruč . . . . .	32
7.4	Rybina–bajonet . . . . .	32
7.5	Výběr . . . . .	34
<b>8</b>	<b>Detailní návrh adaptéru</b>	<b>37</b>
8.1	Jednotlivé součásti . . . . .	37
8.1.1	Základna adaptéru . . . . .	37
8.1.2	Upínací šroub . . . . .	38
8.1.3	Nosná část . . . . .	38



8.2	Optická cesta . . . . .	39
8.3	Proces upnutí a odepnutí . . . . .	40
8.4	Pořizování snímků . . . . .	43
<b>9</b>	<b>Kontrolní výpočty</b>	<b>47</b>
9.1	Zatížení adaptéru hmotností fotoaparátu . . . . .	47
9.2	Šrouby kotouče s bajonetem . . . . .	47
9.2.1	Silové poměry . . . . .	47
9.2.2	Kontroly . . . . .	48
9.3	Ohyb nosné části . . . . .	49
9.4	Šroubový spoj základny a nosné části . . . . .	50
9.4.1	Silové poměry . . . . .	50
9.4.2	Kontroly . . . . .	52
9.5	Upínací šroub . . . . .	53
9.5.1	Kontroly . . . . .	54
9.6	Utahovací páka . . . . .	55
9.6.1	Kontroly . . . . .	55
9.7	Rybinový spoj . . . . .	55
<b>10</b>	<b>Závěr</b>	<b>57</b>





# 1 Přehled použitých veličin

$A_{1z}$	– průřez jádra závitu šroubů bajonetu	[mm <sup>2</sup> ]
$A_{2z}$	– průřez jádra závitu šroubu spojovacího základnu a nosnou část	[mm <sup>2</sup> ]
$A_s$	– plocha namáhaná stříhem pod šroubem spojujícím základnu a nosnou část	[mm <sup>2</sup> ]
$A_{3z}$	– průřez jádra závitu upínacího šroubu	[mm <sup>2</sup> ]
a, b	– rozměry otláčované plochy páky upínání	[mm]
$\alpha_1$	– vrcholový úhel kužele hlavy šroubů bajonetu	[°]
$b_R$	– tloušťka materiálu boku rybiny	[mm]
$\beta_1$	– úhel vrcholu závitu šroubů bajonetu	[°]
$\beta_2$	– úhel vrcholu závitu šroubu spojovacího základnu a nosnou část	[°]
$\beta_3$	– úhel vrcholu závitu upínacího šroubu	[°]
$\beta_{n1}$	– normálový úhel vrcholu závitu šroubů bajonetu	[°]
$\beta_{n2}$	– normálový úhel vrcholu závitu šroubu spojovacího základnu a nosnou část	[°]
$\beta_{n3}$	– normálový úhel vrcholu závitu upínacího šroubu	[°]
$D_1$	– vnější průměr závitu šroubů bajonetu	[mm]
$d_{11}$	– vnitřní průměr závitu pro šrouby bajonetu	[mm]
$d_{12}$	– střední průměr závitu šroubů bajonetu	[mm]
$d_{13}$	– průměr jádra závitu šroubů bajonetu	[mm]
$D_2$	– vnější průměr závitu šroubu spojovacího základnu a nosnou část	[mm]
$d_{21}$	– vnitřní průměr závitu pro šroub spojovací základnu a nosnou část	[mm]
$d_{22}$	– střední průměr závitu šroubu spojovacího základnu a nosnou část	[mm]
$d_{23}$	– průměr jádra závitu šroubu spojovacího základnu a nosnou část	[mm]
$D_3$	– vnější průměr závitu upínacího šroubu	[mm]
$d_{31}$	– vnitřní průměr závitu pro upínací šroub	[mm]
$d_{32}$	– střední průměr závitu upínacího šroubu	[mm]
$d_{33}$	– průměr jádra závitu upínacího šroubu	[mm]
$D_h$	– průměr hlavy šroubu spojovacího základnu a nosnou část	[mm]
$\Delta$	– posunutí okraje snímače fotoaparátu	[mm]
E	– modul pružnosti hliníku v tahu	[MPa]
f	– součinitel tření v rybinovém spoji	[/]
$f_1$	– součinitel tření závitu šroubů bajonetu	[/]
$f_2$	– součinitel tření závitu šroubu spojovacího základnu a nosnou část	[/]
$f_3$	– součinitel tření závitu upínacího šroubu	[/]
$F_g$	– tíhová síla na fotoaparát	[N]
$F_{max1}$	– maximální tahová síla na šroub bajonetu	[N]
$F_{max2}$	– maximální tahová síla na šroub spojovací základnu a nosnou část	[N]
$F_{max3}$	– maximální tahová síla na upínací šroub	[N]



$F_T$	– tlaková síla na páku upínání	[N]
$F_{T1}$	– tahová síla na šroub bajonetu	[N]
$F_S$	– tahová síla na šroub spojovací základnu a nosnou část	[N]
$F_{U1}$	– utahovací síla na šrouby bajonetu	[N]
$F_{U2}$	– utahovací síla šroubu spojovacího základnu a nosnou část	[N]
$F_{U3}$	– utahovací síla upínacího šroubu	[N]
$F_{U3}^*$	– upravená utahovací síla upínacího šroubu	[N]
$\varphi_1$	– třecí úhel závitu šroubů bajonetu	[°]
$\varphi_2$	– třecí úhel závitu šroubu spojovacího základnu a nosnou část	[°]
$\varphi_3$	– třecí úhel závitu upínacího šroubu	[°]
$\varphi_O$	– natočení vyvolané ohybem nohy nosné části	[rad]
$g$	– tíhové zrychlení	[ms <sup>-2</sup> ]
$\gamma_1$	– úhel stoupání závitu šroubů bajonetu	[°]
$\gamma_2$	– úhel stoupání závitu šroubu spojovacího základnu a nosnou část	[°]
$\gamma_3$	– úhel stoupání závitu upínacího šroubu	[°]
$h_s$	– výška snímače fotoaparátu	[mm]
$i_1$	– počet chodů závitu šroubů bajonetu	[/]
$i_2$	– počet chodů závitu šroubu spojovacího základnu a nosnou část	[/]
$i_3$	– počet chodů závitu upínacího šroubu	[/]
$J_y$	– kvadratický moment průřezu nohy vůči ose y	[mm <sup>4</sup> ]
$l$	– vzdálenost těžiště fotoaparátu od jeho přední stěny	[mm]
$l_2$	– rameno tíhové síly pro ohýbání nosné části	[mm]
$l_3$	– délka zašroubování upínacího šroubu	[mm]
$l_R$	– délka rybiny	[mm]
$l_{Z1}$	– délka zašroubování šroubů bajonetu	[mm]
$l_{Z2}$	– délka zašroubování šroubu spojovacího základnu a nosnou část	[mm]
$m$	– hmotnost fotoaparátu	[g]
$M$	– kroutivý moment způsobení tíhovou silou na fotoaparát	[Nmm]
$m_n$	– hmotnost nosné části adaptéru	[mm]
$m_O$	– ohybový moment vyvolaný jednotkovým momentem	[/]
$M_O$	– ohybový moment působící na nohu nosné části	[Nmm]
$M_{U1}$	– utahovací moment na šrouby bajonetu	[Nmm]
$M_{U2}$	– utahovací moment šroubu spojovacího základnu a nosnou část	[Nmm]
$M_{U3}$	– utahovací moment upínacího šroubu	[Nmm]
$M_{U3}^*$	– upravený utahovací moment upínacího šroubu	[Nmm]
$M_{OR}$	– ohybový moment na bok rybinového spoje	[Nmm]
$P_1$	– rozteč závitu šroubů bajonetu	[mm]
$P_{1z}$	– tlak v závitu šroubů bajonetu	[MPa]
$P_2$	– rozteč závitu šroubu spojovacího základnu a nosnou část	[mm]
$P_{2z}$	– tlak v závitu šroubu spojovacího základnu a nosnou část	[MPa]
$P_3$	– rozteč závitu upínacího šroubu	[mm]
$P_{3z}$	– tlak v závitu upínacího šroubu	[MPa]
$r_1$	– poloměr roztečné kružnice šroubů bajonetu	[mm]
$r_f$	– rameno tíhové síly fotoaparátu při výpočtu poměrů ve spoji základny a nosné části adaptéru	[mm]
$r_n$	– rameno tíhy adaptéru	[mm]
$r_o$	– rameno tlakové síly na páku upínání	[mm]



$r_R$	– rameno síly působící na bok rybinového spoje	[mm]
$r_s$	– rameno tahové síly šroubu spojujícího základnu a nosnou část	[mm]
$S$	– otláčovaná plocha upínací páky	[mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_1$	– tahové napětí v dřívku šroubů bajonetu	[MPa]
$\sigma_{1red}$	– redukované napětí v jádře závitu šroubů bajonetu	[MPa]
$\sigma_2$	– tahové napětí v dřívku šroubu spojujícího základnu a nosnou část	[MPa]
$\sigma_{2red}$	– redukované napětí v jádře závitu šroubu spojujícího základnu a nosnou část	[MPa]
$\sigma_3$	– tahové napětí v dřívku upínacího šroubu	[MPa]
$\sigma_{MAX H}$	– maximální dovolené napětí v hliníkových dílech	[MPa]
$\sigma_{MAX O}$	– maximální dovolené napětí v hliníkových dílech	[MPa]
$\sigma_{t1}$	– tlakové napětí na upínací páku	[MPa]
$\sigma_{Rmax}$	– maximální napětí na boku rybiny v ohybu	[MPa]
$t$	– tloušťka materiálu pod hlavou šroubu spojujícího základnu a nosnou část	[mm]
$T$	– třecí síla v rybinovém spoji	[N]
$T_{min}$	– minimální třecí síla v rybinovém spoji	[N]
$\tau_1$	– napětí v krutu v jádře závitu šroubů bajonetu	[MPa]
$\tau_2$	– napětí v krutu v jádře závitu šroubu spojujícího základnu a nosnou část	[MPa]
$\tau_3$	– napětí v krutu v jádře závitu upínacího šroubu	[MPa]
$\tau_s$	– stříhové napětí opěrné plochy šroubu spojujícího základnu a nosnou část	[MPa]
$W_O$	– modul boku rybiny v ohybu	[mm <sup>3</sup> ]

## 2 Přehled použitých zkratk

3D – trojdimenzionální

AVČR – Akademie Věd České Republiky

ČVUT – České Vysoké Učení Technické

CAN – control area network, komunikační protokol

CCD – charge-coupled device, elektronický snímač obrazu

CMOS – complementary metal-oxide semiconductor, elektronický snímač obrazu

DIC – differential interference contrast, diferenciální interferenční kontrast, zobrazovací metoda

DSLR – digital single lens reflector, digitální jednooká zrcadlovka

FFD – flange focal depth, hloubka snímače fotoaparátu od přední stěny

ISO – International Organization for Standardisation

Kč – Koruna česká

LCD – liquid crystal display, obrazovka s tekutými krystaly

PC – personal computer, osobní počítač

PLA – poly-lactic acid, druh polymeru

PMMA – polymethylmethakrylát, druh polymeru

RS232 – recommended standard 232, komunikační protokol

SW – software

TCP/IP – transmission control protocol/internet protocol, komunikační protokol

TV – televize

USB – universal serial bus, komunikační protokol

Wi-Fi – Wireless Fidelity, protokol pro bezdrátové síť

### 3 Úvod

Metalografické mikroskopy umožňují zkoumat nehomogenitu a strukturu kovových materiálů. Vidět díky nim lze makroskopické trhliny, póry či vlákna materiálu, ale také mikroskopické jevy jako hranice a velikost zrn, rozložení a strukturu fází či vměstky. Pozorování na mikroskopech lze zaznamenat slovním popisem nebo překreslením pozorovaného obrazu, tyto metody jsou však subjektivní a neopakovatelné, a ovlivňují je schopnosti pozorovatele. Další možností je obraz z mikroskopu promítat (na matnici nebo jinou projekční plochu) a následně fotografovat, to ovšem produkuje velmi tmavé fotografie nízké kvality. Proto jsou tyto stroje běžně vybaveny speciálními výstupy, určenými pro fotografování obrazu.

Tato práce se zabývá návrhem a konstrukcí pevného adaptéru mezi metalografický mikroskop Zeiss Neophot 32 a fotoaparát Canon EOS 550D. Stroj byl navržen a vyroben v 70. letech minulého století a je vybaven vestavěnou kamerou na fotopapír a nástavcem pro fotografování, ten je ovšem určen pro focení na film a ne pořizování digitálních snímků. Osvitová automatika, která tento způsob fotografování ovládala, je také mimo provoz. Adaptování na moderní fotoaparát umožní využít kvalitní optiku mikroskopu pro pořizování digitálních snímků obrazu a jejich ukládání přímo do počítače. Fotografie následně půjdou vkládat do digitálně tvořených prací a nebo dále na počítači zpracovávat.

Adaptér musí zajistit upevnění fotoaparátu k mikroskopu, tak aby byla nesena celá jeho hmotnost a nedošlo k mechanickému poškození. Upnutí musí mechanicky zajistit opakovatelnost polohy fotoaparátu. Jeho snímač musí být umístěn v rovině promítaného obrazu tak, aby výsledné snímky byly ostré a zároveň musí být chráněn před vstupem prachu a jiných cizích částic. Celá konstrukce nesmí přesahovat přes okraj stolu mikroskopu.

## 4 Cíle práce a postup řešení

Cílem práce je návrh a konstrukce pevného fotografického adaptéru pro mikroskop Neophot 32 a fotoaparát Canon EOS 550D. Hlavními požadavky na adaptér jsou zaostřitelnost obrazu, opakovatelnost ustavení fotoaparátu, nesení hmotnosti fotoaparátu a ochrana snímáče fotoaparátu před poškozením. V úvodní rešerši bude popsán princip metalografických metod, přehled moderních metalografických mikroskopů se zaměřením na pořizování digitálních snímků a fungování mikroskopu Neophot 32, jeho vybavení a schopnosti. Věnovat se bude také principu fungování digitálních zrcadlovek a vlastnostem použitého fotoaparátu. Dále budou prozkoumány existující adaptéry a možnosti uchycení fotoaparátů. V praktické části práce bude navrženo několik variant vlastního adaptéru. Jedna varianta bude vybrána a rozpracována do podoby plnohodnotné konstrukce. Poslední částí práce bude příprava výkresové dokumentace k vybrané variantě.

## 5 Metalografické mikroskopy

### 5.1 Metalografie

Metalografie je věda zabývající se zkoumáním vnitřní struktury kovových materiálů. Zkoumá jak makrostrukturu (vady, trhliny, vlákna materiálu, ...) tak mikrostrukturu (velikost zrn materiálu, vměstky, fázové složení a další).

Vzorky pro metalografická pozorování a focení musí být speciálně připraveny, nesmí ale dojít k nežádoucímu ovlivnění vzorku, například k deformaci, poškrábání, vnesení cizích částic nebo tepelnému ovlivnění. Tento proces sestává ze tří kroků. Nejdříve je vzorek oddělen od většího celku, a to tak aby na něm bylo možné vytvořit výbrus na ploše alespoň 1 cm<sup>2</sup>. Při tom je důležité poznamenat místo odkud jsme vzorek odebrali a jeho orientaci vůči celku nebo směru tváření (zvláště pak orientaci roviny výbrusu).[11]

Následuje broušení a po něm leštění, které probíhá na stroji se dvěma rotujícími plotnami (viz obrázek 5.1). Na jednu plotnu jsou umísťovány kruhy brusného papíru s postupně jemnějšími zrny (hrubost 60 – 2500). V průběhu broušení je na papír přiváděna také voda, která odnáší odebraný materiál a chladí vzorek. Druhá plotna má na sobě filcovou podložku. Na tu v průběhu leštění teče brusná suspenze (voda s brusným práškem). Při broušení a leštění hrozí vznik deformované povrchové vrstvy.[11]

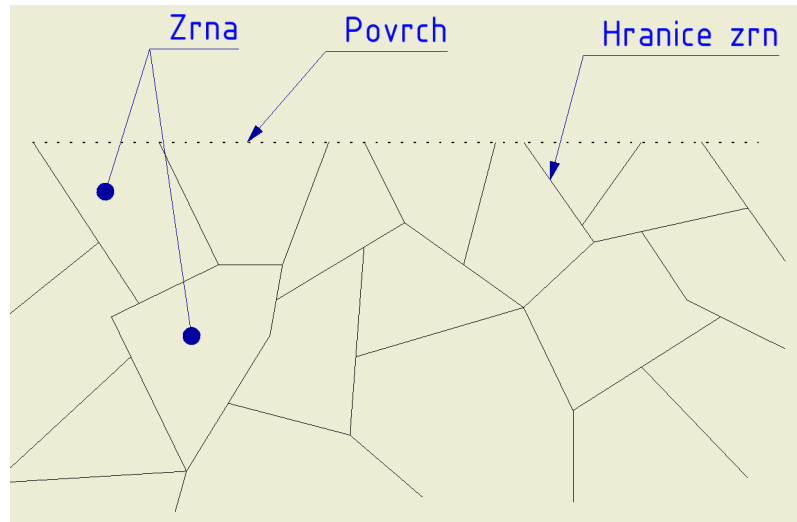


Obrázek 5.1: *Manuální bruska QPOL 250 M2 [9]*

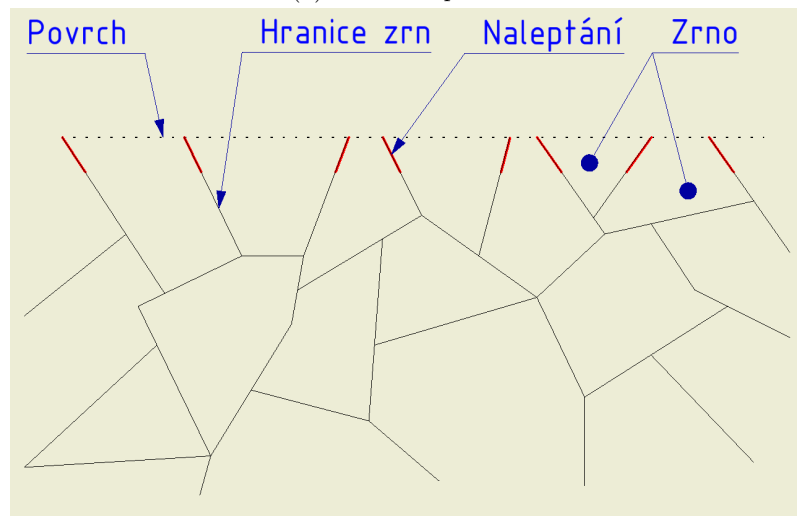
Posledním krokem je zvýraznění struktury. Pro některá pozorování makrostruktury, jako jsou například trhliny, dutiny a póry, se tento krok vynechává. V ostatních případech se vyleštěný povrch leptá. Nejčastěji jsou pro leptání využity chemikálie (anorganické kyseliny a jejich soli, organické kyseliny) ale někdy je zvolena jiná metoda, například elektrolytické nebo katodové leptání. Tato úprava vede k rozlišení jednotlivých částí struktury. Na hranicích zrn způsobuje viditelné prohlubně (diagram na obrázek 5.2), na ploše zrn zase stupňovitý povrch. Zvládne také odhalit dvojfázovou lamelární strukturu, nebo vyvolat zbarvení povrchu při pozorování.[11]

Vidět tuto úpravu nám dovolují speciální mikroskopy. Rozdělují se na suché a imerzní, podle toho zda je vzorek pozorován ve vzduchu nebo olejové lázni. Jsou

vybaveny silnými zdroji světla a schopností svítit na rovinu výbrusu kolmo (tzv. pozorování ve světlém poli) nebo pod šikmým úhlem (pozorování v temném poli). Nabízejí také různé druhy barevných a polarizačních filtrů. U některých je také možnost pomocí speciálních okulárů nebo vložných desek s ryskami měřit přímo v pozorovaném obraze.[11]



(a) Před naleptáním



(b) Po naleptání

Obrázek 5.2: Zobrazení prohlubní na hranicích zrn vzniklých naleptáním



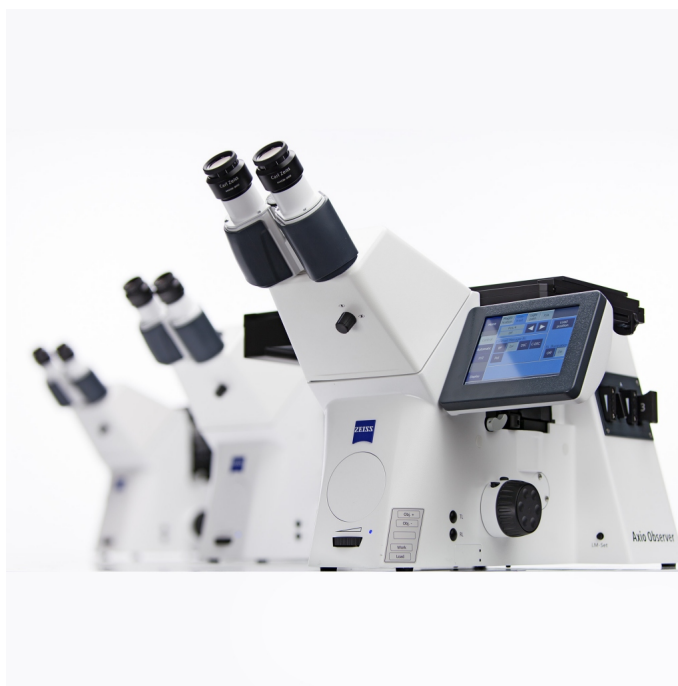
## 5.2 Moderní metalografické mikroskopy

### 5.2.1 Zeiss Axio Observer

Jedná se o invertovaný (na vzorek je nahlíženo zespoda) metalografický mikroskop od společnosti Zeiss. Je vyráběn ve třech úrovních výbavy (na obrázek 5.3), které lze díky modulární konstrukci postupně vylepšovat dokupováním dílů. Kvalitní optika zachovává ostření i při přepínání mezi objektivy nebo změně vzorku. Fyzické vlastnosti tohoto stolního stroje najdeme v tabulce 5.1.

Tabulka 5.1: *Fyzické vlastnosti mikroskopu Axio Observer 7 [14]*

Šířka	295 mm
Výška	805 mm
Hloubka	707 mm
Hmotnost	27 - 36 kg (podle varianty)
Síťové napětí	100 - 240 V při 50 - 60 Hz
Spotřeba	max 300 VA
Výkon osvětlení	100 W



Obrázek 5.3: *Tři úrovně výbavy mikroskopu Axio Observer [14]*

Jednotlivé komponenty jsou vybavené enkodéry s možností motorizace, jejich konfiguraci tak lze digitálně snímat a potenciálně ovládat přes komunikační rozhraní, například prostřednictvím PC. Automatický ovladač osvětlení pak upravuje intenzitu pro co nejlepší obraz. Ke komunikaci používá CAN, RS232 nebo USB,

v pokročilé variantě i protokol TCP/IP. Dodávány jsou dedikované softwarové moduly pro různé úlohy a materiály. Fotoaparáty se dají připojit k výstupu pod binokulární hlavou či zvrchu trinokulární hlavy, dostupná je montáž C a 44, a bajonet T2. Společnost Zeiss sama vyrábí a nabízí fotoaparáty jako dodatkové vybavení, jejich ovládání je řešeno přes dodaný software.[14]

### 5.2.2 DMi8

Tento invertovaný metalografický mikroskop vyrábí společnost Leica ve třech verzích (nejpokročilejší na obrázek 5.4), mezi kterými lze díky modulární konstrukci měnit pouhým osazením jiných dílů. Je schopen zvětšení od 0,7x do 100x, a rychlého přepínání mezi nimi. Fyzické vlastnosti tohoto stolního stroje najdeme v tabulce 5.2. Údaje z prázdných polí nejsou v katalogu výrobce uváděny.

Tabulka 5.2: *Fyzické vlastnosti mikroskopu DMi8 [8]*

Šířka	310 mm
Výška	445 mm
Hloubka	640 mm
Hmotnost	
Síťové napětí	
Spotřeba	
Výkon osvětlení	100 W



Obrázek 5.4: *Verze A mikroskopu DMi8 [8]*

Intenzita osvětlení je ovládána automaticky pro optimální obraz. Jednotlivé díly mají enkodéry s možností motorizace, jejich konfigurace se dají snímat a ovládat po-

mocí funkčních tlačítek či pomocí dodávaného software Leica Application Suite. Podobně jako u mikroskopu Axio Observer nabízí moduly pro různé materiály a úlohy. Fotoaparáty vyráběné společností Leica jsou připojovány k levé straně přístroje a ovládány přímo nebo přes dodaný software.[8]

### 5.2.3 VE-407

Společnost VELAB vyrábí tento invertovaný stolní metalografický mikroskop. Řadí se k méně schopným strojům, dosahuje zvětšení 4x až 40x. Oproti předchozím zmíněným také postrádá schopnost pozorování v temném poli a DIC. Je však rozměrově mnohem menší (viz tabulka 5.3) Fotoaparáty se dají připojit z vrchní strany trinokulární hlavy (ta je na obrázku 5.5), podporovány jsou však pouze přístroje výrobce mikroskopu - VELAB série MC a LX, popřípadě tablet VE-SCOPEPAD. Jejich ovládání je pak prováděno přes k nim dodávaný software.[13]

Tabulka 5.3: *Fyzické vlastnosti mikroskopu VE-407 [13]*

Šířka	200 mm
Výška	355 mm
Hloubka	310 mm
Hmotnost	
Síťové napětí	110/240 V při 50/60 Hz
Spotřeba	
Výkon osvětlení	30 W



Obrázek 5.5: *Mikroskop VE-407 s instalovanou trinokulární hlavou [13]*

### 5.2.4 BA310 MET

Tento stolní metalografický mikroskop od společnosti MOTIC patří také k těm méně vybaveným. Stejně jako VE-407 neumožňuje pozorování v temném poli a DIC, a je relativně skladný (viz tabulka 5.4). Na rozdíl od VE-407 je ale konstruován modulárně, jednotlivé díly jsou jednoduše vyměnitelné a vylepšitelné. Dosahované zvětšení je 50x až 500x. K trinokulární hlavě (na obrázku 5.6) jsou dodávány adaptéry s C montáží nebo bajonetem, jak pro fotoaparáty jiných výrobců tak pro produkty společnosti MOTIC. Ty druhé lze ovládat pomocí mobilní aplikace nebo dedikovaného softwaru.[10]

Tabulka 5.4: *Fyzické vlastnosti mikroskopu BA-310 MET - T [10]*

Šířka	198 mm
Výška	450 mm
Hloubka	508 mm
Hmotnost	12,7 kg
Síťové napětí	100-240 V
Spotřeba	
Výkon osvětlení	3/100 W



Obrázek 5.6: *Mikroskop BA-310 MET trinokulární hlavou [10]*

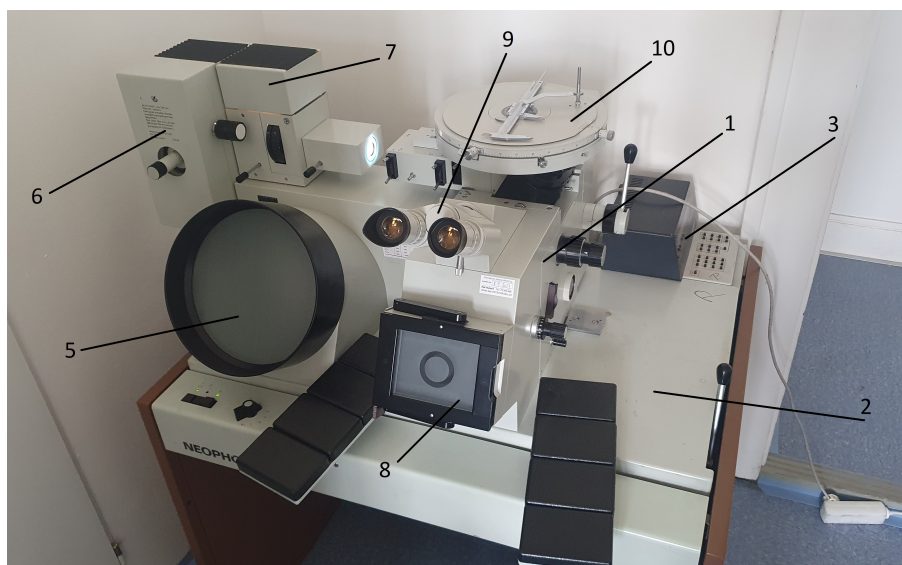
### 5.3 Neophot 32

Mikroskop Neophot 32 je invertovaný metalografický mikroskop vyráběný v 70. letech minulého století. Velmi kvalitní optický systém je srovnatelný s moderními mikroskopy. S vybavením v laboratoři je schopen zvětšení 25x až 1000x. Sestává ze samotného přístroje (1, obrázek 5.7), stolu (2), přídatné skříňky na vybavení a ovladače osvitové automatiky (3). Je poměrně velký a robustní (viz tabulka 5.5) a modulární konstrukce zajišťuje jednoduchou adaptaci pro různé úkoly.

Tabulka 5.5: *Fyzické vlastnosti mikroskopu Neophot 32 [7]*

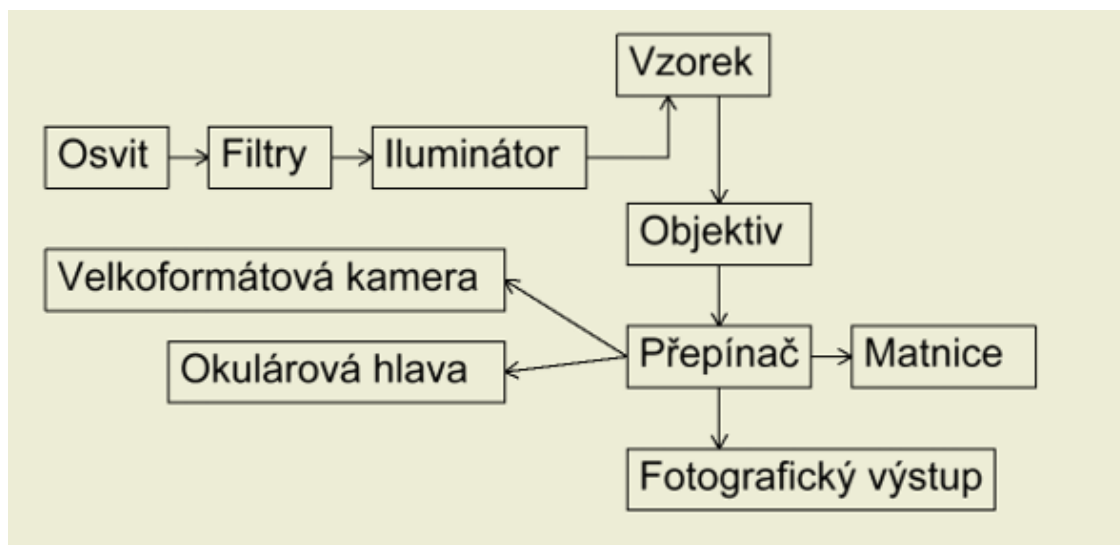
Šířka	1400 mm
Výška	1200 mm
Hloubka	800 mm
Hmotnost	250 kg
Síťové napětí	100-240 V při 50/60 Hz
Spotřeba	500 VA
Výkon osvětlení	100/150 W

Osvit vzorků zajišťují dvě lampy, nízkonapěťová halogenová lampa 12 V/100 W (7, obrázek 5.7), u které lze změnou napájecího napětí měnit jas, a xenonová vysokotlaká lampa 7,5 V/150 W (6). Lampy lze aktivovat samostatně i zároveň a při pozorování mezi nimi jednoduše přepínat. Lze tak za světla halogenové lampy okem obraz zaměřit a zaostřit a následně díky mnohem jasnějšímu světlu xenonové výbojky promítat na matnici nebo fotografovat. Pro xenonovou výbojku platí speciální pravidla používání a před pozorováním je nutné ji seřadit.[7] Při poškození by bylo nahrazení velmi náročné.



Obrázek 5.7: *Mikroskop Neophot 32*

### 5.3.1 Optický systém



Obrázek 5.8: Schéma optického systému mikroskopu Neophot 32 [7]

Paprsky světla z lamp (Osvit, obrázek 5.8) procházejí dvěma disky s výměnnými filtry (Filtry), filtrový revolver mikroskopu standardně obsahuje několik druhů barevných a tlumících filtrů. Paprsky pokračují do zařízení osvětlujícího vzorek. K dispozici je HD iluminátor a přehledový iluminátor pro osvětlení velkého objektivového pole. Vzorky nese plně otočný křížový stůl s maximálním zatížením 5 kg. Rozsah posuvů je 20 mm v obou horizontálních směrech. Ve svislém směru lze rychloposuvem přejíždět mezi horním a dolním dorazem, ostření obrazu je prováděno hrubým a jemným manuálním posuvem.

Pod křížovým stolem (10, obrázek 5.7) se nachází objektivový revolver (obrázek 5.9). Objektivy i revolver jsou výměnné, na jejich seřízení po výměně není potřeba žádné speciální vybavení. Díky přítomnému vybavení dosáhne mikroskop zvětšení 25 x až 1 000 x. Poslední společnou částí optického systému je přepínač toku paprsků (Přepínač, obrázek 5.8).

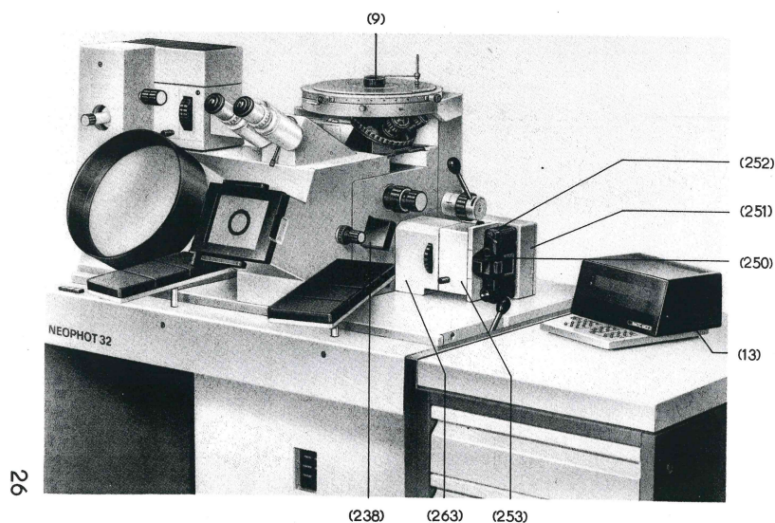
Při výběru velkoformátové kamery prochází paprsky následně projektivem, který promítá obraz na její desku. Obdobně funguje také zobrazování na matnici. Světlo na cestě do okulární hlavy nejprve vytváří meziobraz, do jeho roviny jsou umísťovány srovnávací a měřicí destičky. Meziobrazový systém jej následně promítá do okuláru a ten pak do očí pozorovatele. Táhlo na straně mikroskopu řadí za přepínač Bertrandův systém, umožňující zaostřit rovinu světelného zdroje, relativního otvoru objektivu a zornice mikroskopu. Poslední možností je mikrofotografický výstup. Ten je určen pro připojení stavebnicových jednotek (například systému mf-AKS na obrázek 5.10) určených k fotografování na film nebo promítání na obrazovku.


 Obrázek 5.9: *Objektivový revolver*

### 5.3.2 Schopnosti a přídatné vybavení

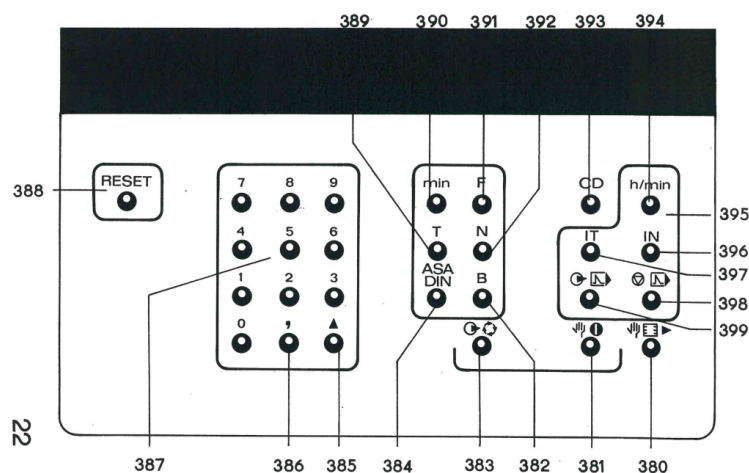
Paprsky po přechodu přepínačem opouští mikroskop jedním ze čtyř výstupů. Velká 250 mm matnice (5, obrázek 5.7) nabízí možnost ukazovat pozorovaný obraz větší skupině lidí. Díky sadě průhledných folií s ryskami na ní bylo také možné provádět základní měření, tato sada ale není v laboratoři dostupná. Vestavěná velkorozměrová kamera (8) s výměnným rámečkem dovoluje pořizovat snímky vzorků přímo na fotopapír různých formátů. Dodávána je se sadou skleněných ryskových desek.

Výměnný okulár (9) slouží k přímému pozorování vzorků. Využívá se také pro seřizování xenonové lampy, otočného stolu a objektivů v revolveru. V okuláru se také zaměřuje a zaostřuje obraz pro ostatní výstupy, díky optickému sdružení obrazových rovin všech výstupů. Díky Bertrandovu systému lze zaostřit na rovinu světelného zdroje, otvoru objektivu a zornice mikroskopu. Okuláru lze předřadit výměnný porovnávací a srovnávací modul, jeho destičky se stupnicemi a ryskami přímo při pozorování provádět měření. Adaptér od společnosti Zeiss by byl montován místo okuláru.


 Obrázek 5.10: *Stavebnice mf-AKS pro mikrofotografii [7]*

Výstup mf je určen pro nasazení mikrofotografických stavebnicových jednotek. Kamerový nástavec N 30/32, uzávěrkový dílec MATIC – MOT 2 a výměnné kazety na film (263, 253, 251, obrázek 5.10) umožňovali pořizování snímků. K přístroji bylo možné pořídit i TV adaptér, určený pro promítání na televizní obrazovku v reálném čase. K tomuto výstupu je také umístěn senzor osvitové automatiky.

Systém osvitové automatiky, který je v současné době nefunkční, se staral o ovládání závěrky a pořizování sérií snímků při použití systému mf-AKS. Počítač sbíral informace o jasu a na základě zadaných dat o fotografických podmínkách a použitém filmu vypočítává dobu osvitů. Byl schopen manuální expozice a také jednotlivých snímků a časovaných sérií. Byl tak schopen zaznamenávat časové změny (například při vysokoteplotních zkouškách nebo při působení chemických látek). Automaticky při tom snímky čísloval a zanášel do nich informace o nastavení osvitů. Varoval uživatele při chybném či neúplném zadání, při chybách zapojení a překročení rozsahu parametrů. Uživatel viděl informace na malé obrazovce, ovládání zajišťovala zabudovaná klávesnice (na obrázek 5.11).[7]



Obrázek 5.11: Schéma obrazovky (černě) a klávesnice osvitové automatiky [7]

Přehledový iluminátor nahrazuje objektivový revolver dvěma objektivy. Pro pozorování ve světlém poli je určen nástavec s rovinným sklem a rozptylovým koutčem. Nástavec pro pozorování v tmném poli je vybaven zrcátkem pro změnu úhlu dopadu. HD iluminátor umožňuje také pozorování v tmném i světlém poli. Slouží také k pozorování v polarizovaném světle ať už pomocí zabudovaného systému nebo přídatných nástavců.

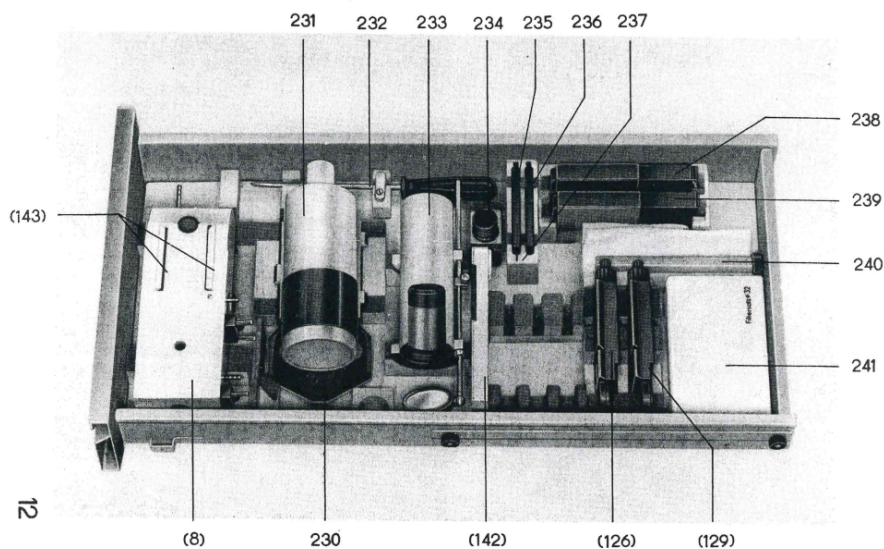
Další přídatná zařízení zahrnují interferenční filtr pro vyšetřování průsvitných objektů, zařízení pro zkoušení tvrdosti podle Vickerse mhp 100, sadu okulárových měřících, početních a srovnávacích destiček nebo speciální měřící mono- a binokuláry. Dodávána byly také lupomikroskopová zařízení pro velké objekty, zařízení



pro značkovací vrypy na vzorku, zařízení pro vysokoteplotní mikroskopii a štěrbinové clony pro drobné vzorky.[7]

### 5.3.3 Péče

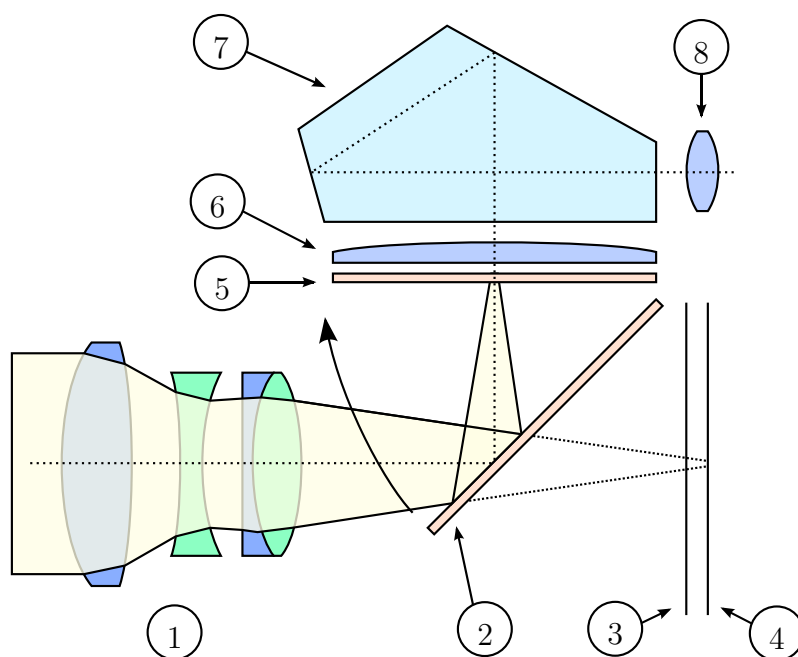
Manuál zmiňuje i jak se o mikroskop starat. Nejdůležitější je ochrana před zaprášením optických prvků - čoček a lamp. Doporučuje se zavírat clonu HD iluminátoru, zakrývat vodorovné a šikmé čočky, například u okuláru nebo objektivů, a celý systém pravidelně čistit od prachu jemným štětečkem. Nepoužívané stavebnicové jednotky by měly být skladovány na svém místě ve skřínce na příslušenství, v uzavřených zásuvkách (viz obrázek 5.12). Kluzné a vodící plochy vyžadují pravidelné očištění a mazání odpovídající vazelínou.



Obrázek 5.12: Druhá zásuvka skříňky na příslušenství [7]

## 5.4 DSLR fotoaparáty

Tento druh fotoaparátů je digitální (**D** ve zkratce), využívá jeden objektiv (**S**ingle **L**ens) a zrcadlo (**R**eflector), které odráží světlo do optického hledáčku. Paprsky nejprve projdou objektivem (1 na obr. 5.13), zrcadlo (2) je odráží na hledáčkovou matnici (5) se záměrnými mřížkami a značkami. Promítnutý obraz přesně odpovídá obrazu, který by vznikl na snímáči fotoaparátu (4). Hranol (7) převrací obraz z matnice a optika hledáčku (6, 8) jej promítá do oka fotografa. Při zmáčknutí spouště fotoaparátu se zrcátko zvedne, clona v objektivu se nastaví na vybranou hodnotu a dojde k otevření závěrky(3). Po uplynutí expozice se závěrka opět zavře a fotoaparát se vrátí do původního stavu. Využívány jsou CCD a CMOS snímáče, které se neliší funkcí, ale způsobem výroby.[12]



Obrázek 5.13: Schéma funkce DSLR fotoaparátu [3]

### 5.4.1 Canon EOS 550D

Pro pořizování snímků bude použit fotoaparát Canon EOS 550D, digitální zrcadlovka s CMOS snímačem s efektivním rozlišením 18 megapixelů. Ke spojení s výměnnými objektivy využívá bajonet EF/EF-S (na obrázek 5.14). Dalším možným montážním bodem je díra se závitem 1/4x20 pro upevnění na trojnožku, popřípadě montážní lišta pro externí blesk. Fotoaparát je schopen automatického ostření a automatického řízení citlivosti (ISO 100 – 6400), závěrky (30 – 1/4000 s) a vyvážení bílé. Optický hledáček zobrazuje kromě foceného obrazu také informace o zmíněných funkcích. Barevný LCD displej umožňuje jednoduché nastavení fotoaparátů, digitální náhradu hledáčku a okamžité prohlížení pořízených snímků. Pro účely focení statických snímků povrchů s jasným světlem a malou potřebnou hloubkou ostrosti

postačuje manuální režim.[6, 2] Fotoaparát může být používán bez objektivu, v tom případě je nutné nastavit snímač do obrazové roviny a zároveň ho chránit před vstupem prachu. FFD (**F**lange **F**ocal **D**epth), popisující vzdálenost mezi přední stěnou bajonetu a rovinou snímače, je 44 mm. Obraz z mikroskopu lze fotografovat také pomocí makroobjektivu Canon EF 100 mm f/2.8 Macro USM, který je v laboratoři dostupný.



(a) Nasazovací část na objektivu

(b) Pevná část na těle fotoaparátu

Obrázek 5.14: Bajonet EF/ EF-S

#### 5.4.2 Existující adaptéry a uchycení fotoaparátů

K mikroskopu je dodáván systém stavebních bloků pro přímé připojení filmového fotoaparátu. Počítá s tím, že pořizování snímků bude ovládáno osvitovou automatikou a snímky budou následně vyvolány.[7] Přímé ukládání digitálních snímků zásadně zjednoduší nakládání se snímky. Zásadním problémem při využití tohoto systému pro připojení digitálního fotoaparátu by byla nutnost adaptovat kromě fyzického spojení a optického systému také osvitovou automatiku.

Výrobce mikroskopu, společnost Zeiss, nabízí na svých webových stránkách „Camera Assistant“. Po vyplnění používaného fotoaparátu a mikroskopu se zobrazí seznam dílů potřebných pro připojení. V případě mikroskopu Neophot 32 a fotoaparátu Canon 550D jsou to následující:

1. Přechodový díl T2–EF
2. Přechodový díl T2–T2 DSLR 1.6x
3. Přechodový díl 60–T2
4. Přechodový díl 107–60.

Tyto by se namontovaly místo binokuláru, mikroskop by tak přišel o možnost pozorování okem. Některé díly tohoto adaptačního řetězce se ale neprodávají a toto řešení tak nelze realizovat.[15]

Laboratoř mikroskopie na Katedře elektrotechnologie Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze je vybavena stejným mikroskopem. Byl k němu dostupný i adaptér

na fotoaparát Nikon CoolPix 5700 (viz obrázek 5.15). Není k němu ale dostupná žádná dokumentace a tento jediný kus byl odcizen při rekonstrukci laboratoře.[4]



Obrázek 5.15: Mikroskop s adaptérem na fotoaparát Nikon [4]

Na Ústavu Fyziky Materiálů AVČR se také nachází exemplář mikroskopu Neophot 32. Je adaptován na digitální kameru, dokumentace k tomuto adaptéru byla ale také nenávratně ztracena. Na požádání je možné laboratoř přípravy materiálů navštívit a adaptér si prohlédnout.

### 5.4.3 Objektiv EF 100mm f/2.8 Macro USM

Jedná se o střední teleobjektiv s automatickým ostřením. Je vybaven přepínačem rozsahu ostření a vypínačem automatického ostření (viditelné na obrázek 5.14a). Čočky mají povrchovou úpravu Super Spectra pro vyvážení barev a vysoký kontrast. Ohnisková vzdálenost tohoto objektivu je 100 mm, další vlastnosti jsou v tabulce 5.6.[1]

Tabulka 5.6: Fyzické vlastnosti objektivu [1]

Lamely clony	8
Max. clonové číslo	32
Min. ostricí vzdálenost	310 mm
Průměr	79 mm
Délka	119 mm
Hmotnost	600 g

## 6 Rozbor problému

### 6.1 Požadavky

Adaptér musí vyřešit hned několik problémů. Zaostritelnost obrazu lze dosáhnout dostatečnou vzdáleností objektivu od matnice mikroskopu. Jeho minimální ostřicí vzdálenost najdeme v tabulce 5.6. Opakovatelnost ustavení stejně jako nesení hmotnosti fotoaparátu zajistí dostatečně tuhý adaptér a vhodný mechanismus upínání fotoaparátu, například opěrné plochy s pružnými prvky pro vymezení vůle. Ochranu snímáče zajistí objektiv fotoaparátu.

### 6.2 Rozměry

Matnice mikroskopu o průměru 250 mm má okrajový lem o výšce 50 mm. Její plocha je skloněna pod úhlem  $45^\circ$  (viz obrázek 6.1). V jejím okolí se nachází dostatek vodorovných a svislých ploch pro případné podpěry. V průběhu studia návodu k mikroskopu byl objeven mikrofotografický výstup **mf** (na obrázek 7.4). Experimentálně bylo zjištěno, že tento výstup je schopen promítat obraz tak, že jej lze snímat pomocí fotoaparátu nejen s objektivem, ale také bez něj. Roli objektivu pak hraje optika mikroskopu.



Obrázek 6.1: Matnice mikroskopu a její okolí

Fotoaparát váží 530 g s baterií a paměťovou kartou, vejde se do kvádrů o šířce 129 mm, výšce 98 mm a hloubce 62 mm. Osa bajonetu EF (a tedy připojených objektivů) se nachází 36,5 mm od spodní plochy fotoaparátu. Díra na stejné ploše má palcový závit  $1/4 \times 20$ . Makroobjektiv dostupný v laboratoři představuje válec o průměru 79 mm, délce 119 mm a hmotnosti 600 g.

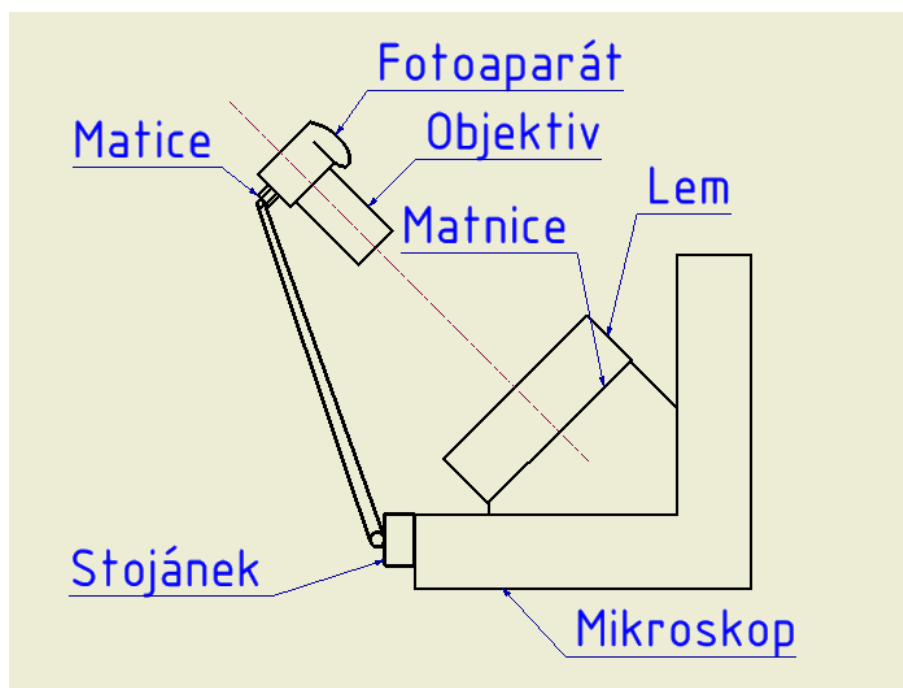
## 7 Návrhy adaptérů

Byly vybrány čtyři nejvíce realistické varianty konstrukce adaptéru, popsané metodou upnutí k mikroskopu a fotoaparátu. Popis níže představuje jejich vlastnosti, přednosti a úskalí. Po srovnání došlo k výběru jedné varianty a jejímu rozvinutí do podoby plnohodnotného návrhu. Komunikaci fotoaparátu s ovládacím PC zajistí v každém případě USB kabel a SW EOS Utility.

### 7.1 Stojánek–matice

Návrhově nejjednodušší variantou je využít magnetického stojánku. Stojánek byl magneticky upevněn k některé z ploch stolu mikroskopu. Po přišroubování fotoaparátu ke konci ramene stojánku a nastavení do vhodné pozice byla celá konstrukce byla zaaretována.

Magnetický stojánek musí být dostatečně velký, fotoaparát je nutné umístit tak, aby vzdálenost mezi matnicí a objektivem byla aspoň 31 cm. Aretace musí unést hmotnost fotoaparátu s objektivem, tedy 1 130 g. Přechodová matice mezi stojánkem a fotoaparátem musí také být dostatečně pevná.



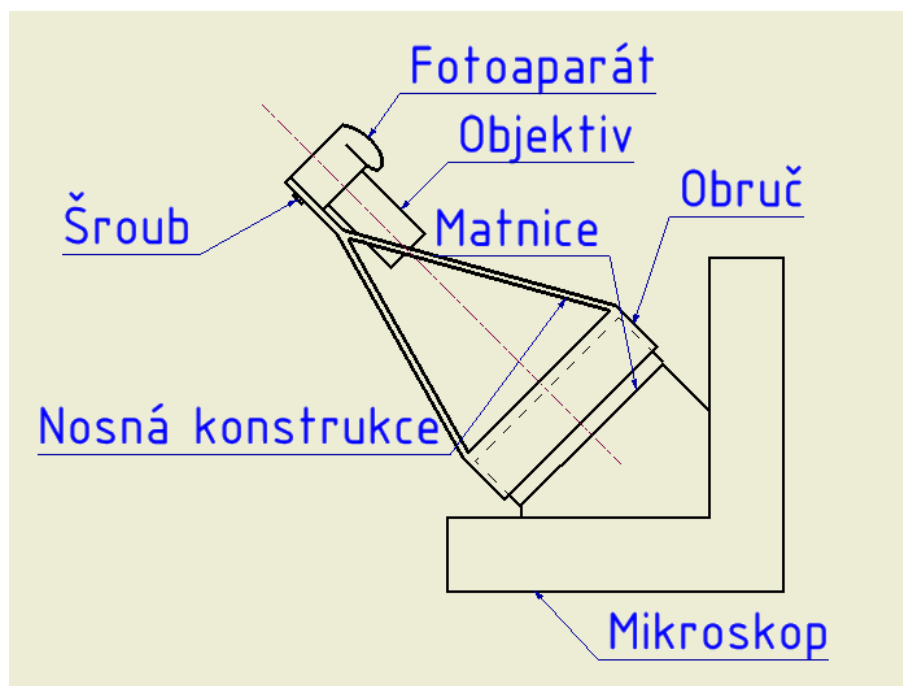
Obrázek 7.1: *Skica upevnění fotoaparátu pomocí magnetického stojánku a matice*

Výhodou této varianty je omezení nutné konstrukční části práce. Magnetické stojánky s požadovanými vlastnostmi jsou volně dostupné ke koupi, konstrukce přechodové matice se dvěma závity není komplikovaná. Tento přístup má ale také nevýhody. Zatímco požadavky na zaostřování a nesení hmotnosti jsou jednoduše

splnitelné, ustavení nelze zopakovat. Upevnění magnetického stojánku, umístění ramen a různé utažení přechodové matice mohou způsobit jinou pozici fotoaparátu a ovlivnit výsledné snímky. Při nechtěném kontaktu se stojánkem nebo fotoaparátem ze strany obsluhy mikroskopu by mohlo dojít ke změně ustavení, poškození stojánku a v krajním případě i poškození fotoaparátu. Při pokusech v laboratoři bylo zjištěno, že stojánek není možné magneticky upevnit k tělu mikroskopu, tělo mikroskopu je pokryto nemagnetickým plechem.

## 7.2 Obruč–šroub

Další možností je uchycení adaptéru přímo k matnici. Stahovací obruč o průměru 250 mm by byla nasazena na zvýšený okraj matnice. K ní připevněná nosná konstrukce by vedla k upínacímu mechanismu. Fotoaparát by byl zapřen o středící plochy pro zajištění souososti s matnicí a připevněn šroubem pomocí díry se závitem na spodní straně. Nabízí se také možnost podepření objektivu, pro snížení zátěže na upnutí fotoaparátu.

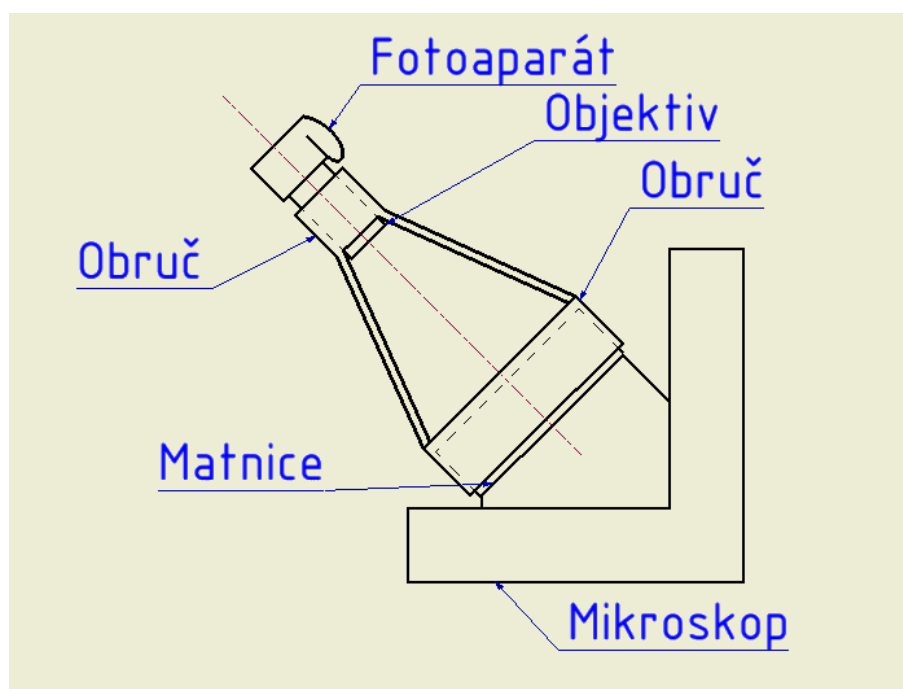


Obrázek 7.2: *Skica upevnění fotoaparátu pomocí obruče kolem matnice a šroubu*

Tato varianta splňuje požadavky na zaostřitelnost obrazu a nesení fotoaparátu, na rozdíl od předchozí varianty je také zajištěna opakovatelnost ustavení. Výhoda relativně jednoduché konstrukce je vyváжена velkými rozměry adaptéru. Vzdálenost mezi matnicí a objektivem musí být alespoň 310 mm a s délkou fotoaparátu s objektivem bude výsledná konstrukce výrazně zasahovat do prostoru pro obsluhu. Musí proto být zajištěna i odolnost proti nechtěným kolizím.

### 7.3 Obruč–obruč

Tato varianta je podobná té předchozí upínáním na mikroskopu přímo k matnici. Obruč o průměru 250 mm s vymezovacím šroubem by byla nasazena na zvýšený okraj matnice. K ní připevněná nosná konstrukce by vedla k upínacímu mechanismu. K upnutí fotoaparátu s nasazeným objektivem tato varianta využívá další, menší obruč. Do té by se zasunul objektiv a následně byl upevněn stavěcím šroubem.



Obrázek 7.3: Skica upevnění fotoaparátu pomocí obruče kolem matnice a kolem objektivu

U této varianty jsou požadavky na zaostřitelnost obrazu, opakovatelnost ustavení a nesení fotoaparátu splněny. Výhoda velmi jednoduché konstrukce je i u této varianty vyvážena velkými rozměry adaptéru, z naprosto stejných důvodů. Také tato konstrukce by proto byla navrhována jako odolná proti nárazu obsluhy. Oproti předchozí je u této varianty jednodušší a rychlejší upínání fotoaparátu. Vyhýbá se také používání palcových šroubů.

### 7.4 Rybina–bajonet

Kromě konstrukcí pro snímání matnice byla navržena také jedna varianta pro snímání z **mf** výstupu. Tento odklon od zadání slibuje lepší vlastnosti adaptéru, zvláště kvalitu snímků. Tu ovlivňuje množství optických prvků (každá vrstva skla mezi předmětem a snímačem zhoršuje kvalitu snímku), dvojí zaostřování obrazu (nejprve zaostření projekce na matnici pak zaostření matnice fotoaparátem) a v neposlední řadě také rozptyl na matnici. Využití **mf** bez objektivu fotoaparátu

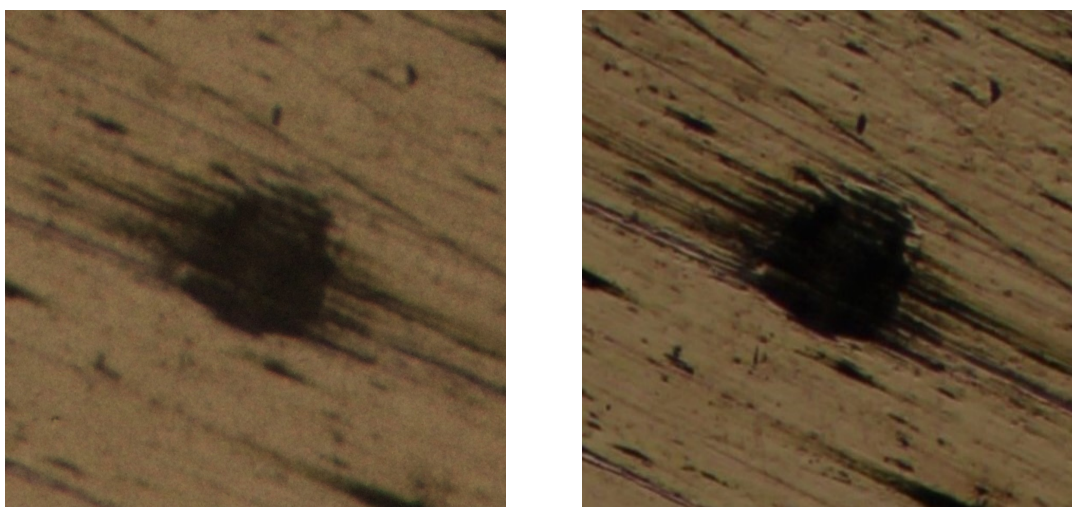


umožňuje celou sestavu umístit na boční část stolu mikroskopu, kde nepřekáží obsluze a je tak chráněná před nárazy. Takové řešení však vyžaduje krytí snímače fotoaparátu, aby nedošlo ke vniku prachu či jiných cizích částic.



Obrázek 7.4: Mikrofotografický výstup mf

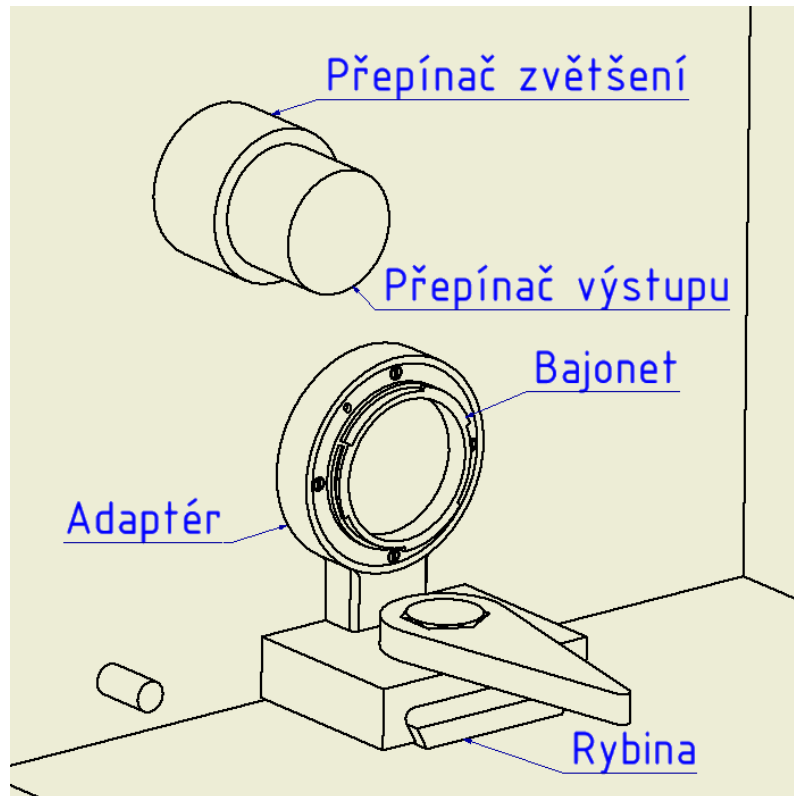
Proveditelnost tohoto řešení a lepší kvalita snímků z tohoto výstupu mikroskopu byly experimentálně ověřeny (viz obrázek 7.5).



(a) Snímek matnice pořízený makroobjektivem (b) Snímek vzorku pořízený přímo z mf výstupu

Obrázek 7.5: Srovnání kvality snímků pořízených fotografováním matnice a přímým osvětováním snímače z mf výstupu. Snímek matnice vykazuje zrnitost, barevné vady a podstatně nižší ostrost a kontrast. Zvětšení 25x

Po nasunutí základny adaptéru drážkou na rybinu na boku mikroskopu by byl spoj zaaretován stavěcím šroubem. Konstrukce spojuje základnu s krycí trubicí. Krycí sklo zajišťuje těsnění proti světlu a prachu, k připevnění fotoaparátu slouží bajonet EF, udržující souosost s adaptérem. Optika mikroskopu zajišťuje jak funkci objektivu tak projekci ostrého obrazu přímo na snímač fotoaparátu.



Obrázek 7.6: Skica upnutí - rybina je součástí mikroskopu

Všechny požadavky na adaptér jsou v této variantě snadno splněny, i když ostření zajišťuje mechanika mikroskopu. Ta je ovšem využívána i v ostatních variantách pro projekci na matnici. Konstrukce není nijak složitá, navíc je rozměrově podstatně úspornější a umístěná mimo operační prostor obsluhy. Upínání adaptéru i fotoaparátu je rychlé a jednoduché.

## 7.5 Výběr

Při výběru varianty ke zpracování do podoby konkrétního návrhu byla zvažováno několik kritérií. Každému byla přiřazena maximální bodová hodnota, které může varianta dosáhnout s tím, že varianta s největším celkovým počtem bodů bude vybrána jako nejlepší. Zvolena byla následující kritéria:

- Ochrana fotoaparátu - max. 2 body
  - Fotoaparát nebo snímač nejsou chráněny - 0 b.
  - Fotoaparátu hrozí poškození obsluhou - 1 b.
  - Fotoaparát je chráněn před poškozením - 2 b.

- Zaostřitelnost obrazu - max. 3 body
  - Obraz nejde zaostřit - 0 b.
  - Obraz lze částečně zaostřit pouze v části snímku nebo s výraznými optickými vadami - 1 b.
  - Obraz lze částečně zaostřit na celé ploše snímku - 2 b.
  - Obraz lze zaostřit na celé ploše snímku bez výrazných optických vad - 3b.
- Opakovatelnost ustavení - max. 2 body
  - Ustavení nelze zopakovat - 0 b.
  - Ustavení lze zopakovat s velkou tolerancí - 1 b.
  - Ustavení lze zopakovat s přijatelnou tolerancí - 2 b.
- Ergonomie - max. 1 bod.
  - Fotoaparát a adaptér překáží obsluze - 0 b.
  - Fotoaparát a adaptér neprekáží obsluze - 1 b.

První varianta sice umožňuje zaostřit obraz na matnici, selhává ale těžce ve všech ostatních kategoriích, obzvláště v potřebě opakovatelnosti ustavení. Tělo mikroskopu není vhodné k magnetickému upevnění a umístění stojánku vyžaduje demontáž ruční opěrky. Bylo jí také přiřazeno nižší skóre ochrany fotoaparátu, nese s sebou vyšší riziko jeho poškození. Hodnocení druhé varianty (obruč–šroub) se liší hlavně v opakovatelnosti ustavení, kterou tato poskytuje. Díky silnější konstrukci také získala vyšší hodnocení ochrany fotoaparátu. Třetí varianta (obruč–obruč) je hodnocena povětšinou stejně jako obruč–šroub. Jediný rozdíl lze najít v opakovatelnosti, upínání fotoaparátu za objektiv do obruče není zdaleka tak tuhé a kontakt dvou válcových ploch umožňuje neurčitost. Poslední varianta vznikla jako výsledek práce s mikroskopem. Oproti předchozím variantám dosáhla na vyšší skóre v zaostřitelnosti obrazu, protože nevyžaduje dvojí ostření, a také v ergonomii, nepřekáží totiž obsluze. Dosahuje navíc nelepších kvality obrazu, protože minimalizuje množství optických prvků mezi vzorkem a snímačem a nesnímá velmi tmavý obraz na matnici. Skóre přidělené jednotlivým variantám najdeme v tabulce 7.1:

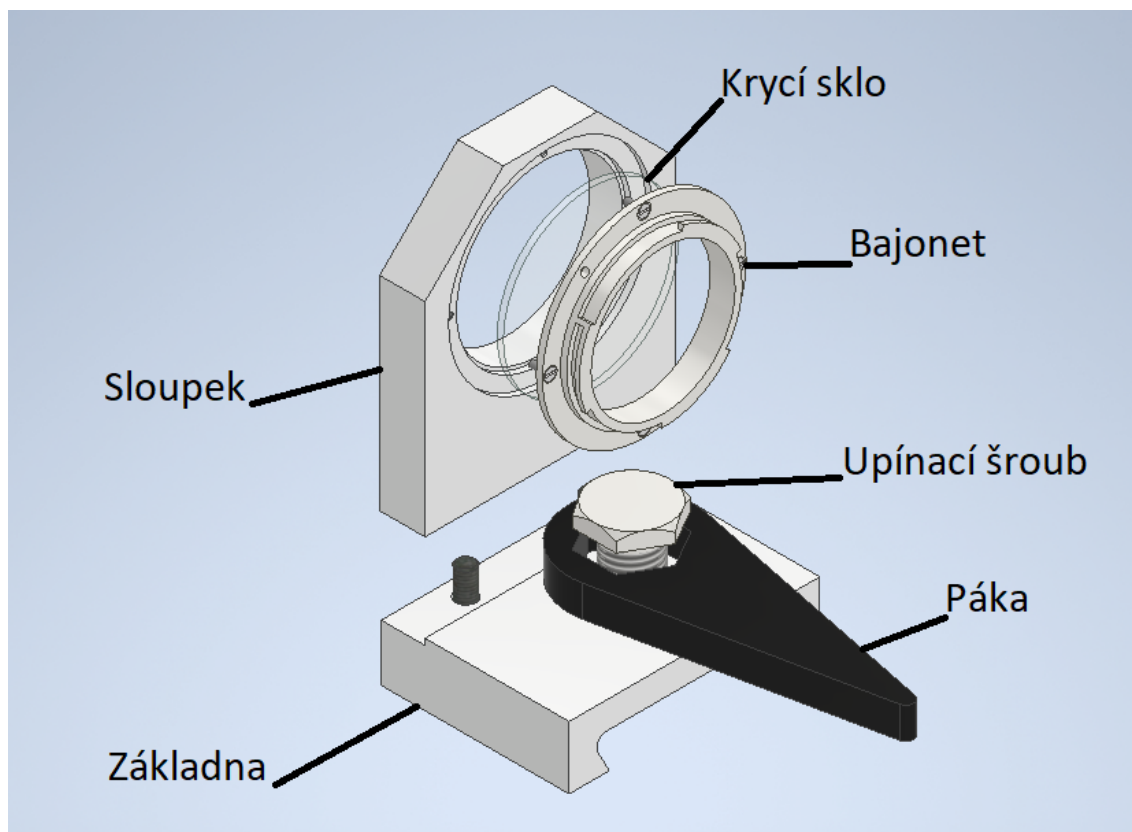
Tabulka 7.1: *Body získané variantami v jednotlivých kategoriích a celkové skóre*

Varianta	Stojánek šroub	Obruč šroub	Obruč obruč	Rybina bajonet
Ochrana	0	1	1	2
Zaostřitelnost	1	2	2	3
Opakovatelnost	0	2	1	2
Ergonomie	0	0	0	1
Celkem	1	5	4	8

Nejvíce bodů získala varianta rybina–bajonet, byla proto vybrána pro další zpracování do podoby plnohodnotné konstrukce. Z jejích předností lze zmínit ostrý a jasný obraz, kompaktní rozměry a dobrou ergonomii. Díky využití bajonetového spojení není nutné řešit silové a rozměrové poměry upínání fotoaparátu. Umístění na boku mikroskopu pak nepřekáží při obsluze. Detaily návrhu se nacházejí v další kapitole.

## 8 Detailní návrh adaptéru

Dále byly podrobněji popsány jednotlivé díly a ovládání zvoleného adaptéru (obrázek 8.1) včetně postupu při pořizování snímků. Při návrhu byl použit 3D model fotoaparátu.[5]

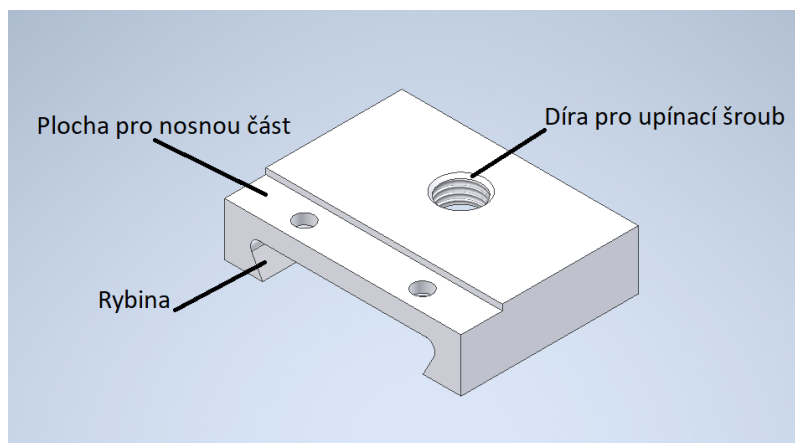


Obrázek 8.1: Rozpad sestavy adaptéru

### 8.1 Jednotlivé součásti

#### 8.1.1 Základna adaptéru

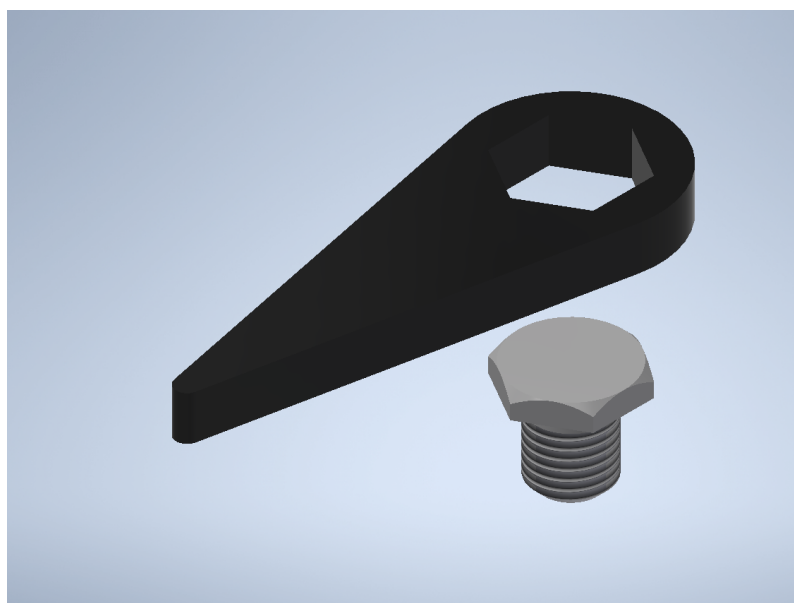
Základna zajišťuje upevnění adaptéru k mikroskopu. Kvádr o délce 100 mm, šířce 60 mm a výšce 20 mm má na spodní straně vyfrézovanou rybinu a díry pro šrouby se zápustnou hlavou ISO 10642 - M6. Shora je na základně vyfrézovaná plocha pro nosnou část adaptéru a díra se závitem M16 pro upínací šroub. Jako materiál byl zvolen hliník AW-1050A ve stavu H12. Po oddělení vhodného polotovaru lze díl vyrobit na tříosé frézce, není požadována žádná povrchová úprava.



Obrázek 8.2: Základna adaptéru

### 8.1.2 Upínací šroub

Upínací šroub vychází koncepčně ze šroubů se šestihrannou hlavou se závitem v hlavě, je však zkrácen aby vyhovoval rozměrům adaptéru. Na dříku délky 19 mm je závit M16, hlava je šestihran o výšce 5 mm s protějsími stranami 24 mm od sebe. K jeho ovládání slouží hliníková páka s vnitřním šestihranem vyřezaná z plechu. Jako materiál šroubu byla zvolena ocel S235. Výroba šroubu bude vyžadovat soustružení dříku, závitu a sražení na hlavě.

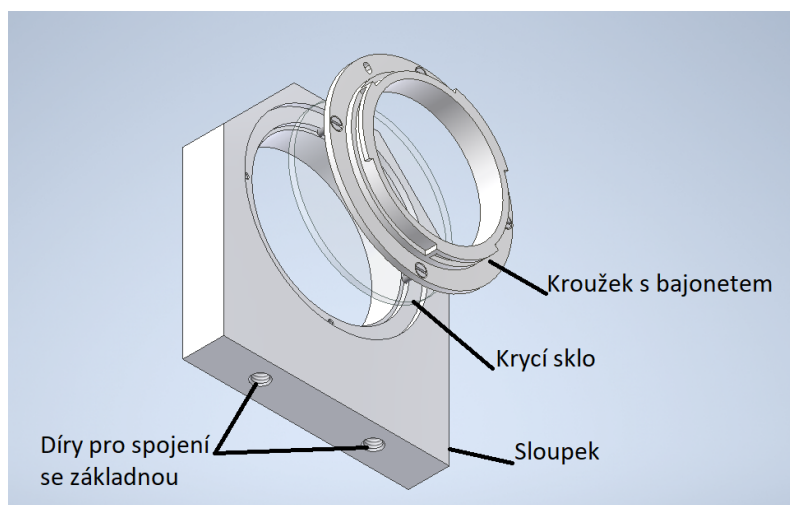


Obrázek 8.3: Upínací šroub s pákou

### 8.1.3 Nosná část

Nosná část adaptéru se skládá ze sloupku, krycího skla a kroužku s bajonetem. Sloupek je kvádr se dvěma sraženými hranami a dírami se závitem M6 na spodní straně, které slouží k přišroubování k základně. V horní části má díru pro průchod

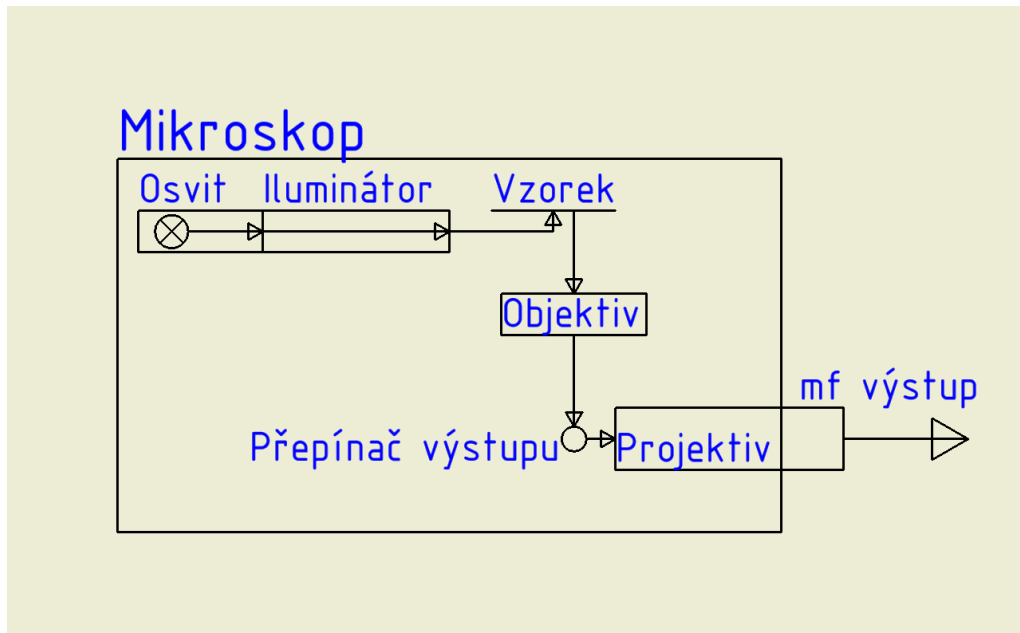
světla a montáž krycího skla a bajonetu (obrázek 8.4). Krycí číré křemenné sklo chrání snímač fotoaparátu před prachem a poškozením. Ke sloupku je přitlačováno kroužkem s bajonetem, který je přišroubován čtyřmi šrouby se zápustnou hlavou ISO 2009 - M2x6. Výroba nosné části z hliníku AW-1050A by vyžadovala frézování tvaru, vrtání a závitování spodních děr, řezání sklíčka (nejspíše z křemenného skla, kvůli odolnosti proti poškrábání). Kroužek s bajonetem není samostatně prodejný díl a není k němu dostupná žádná dokumentace, výrobce Canon si jej chrání jako obchodní tajemství. Je ale možné pořídit ho jako součást různých adaptérů pro tento bajonetový systém. Z jednoho takového pořízeného adaptéru by byl demontován a následně umístěn na adaptér.



Obrázek 8.4: Rozpad nosné části

## 8.2 Optická cesta

Světlo z lampy prochází nejprve volitelnými filtry. Následně vstupuje skrz clony do iluminátoru, který osvětluje vzorek. Světlo odražené od vzorku vstupuje do objektivu a dále do optického systému. Přepínač optického výstupu následně paprsky pošle do projektivu mikrofotografického výstupu (viz obrázek 8.5). Výsledný ostrý obraz následně vzniká v rozsahu zhruba 55 - 85 mm od boku mikroskopu, v závislosti na zvoleném objektivu a zvětšení. Tuto vzdálenost lze měnit také posuvem stolku mikroskopu, s rostoucí vzdáleností vzorku od objektivu se obraz přibližuje k mikroskopu.

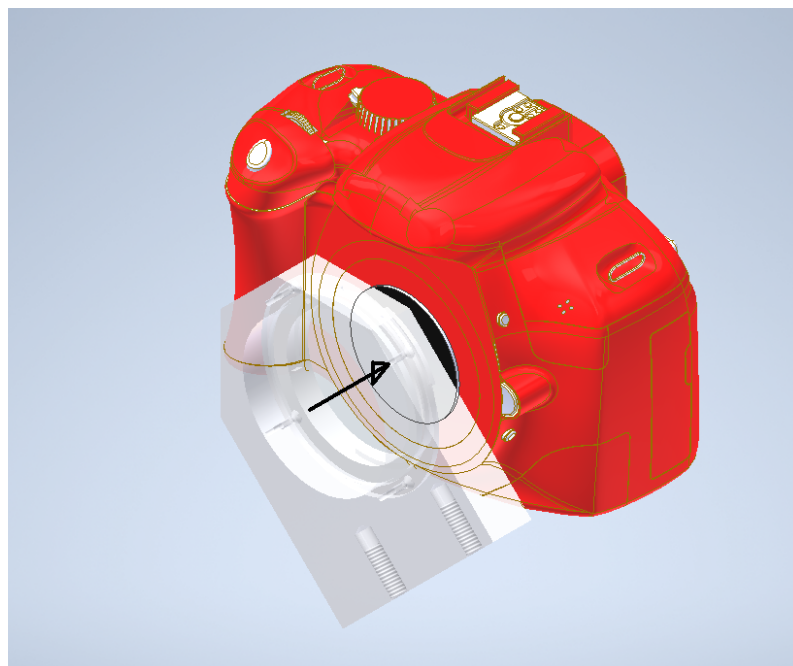


Obrázek 8.5: Schéma optické cesty

### 8.3 Proces upnutí a odepnutí

Upnutí probíhá následujícím způsobem:

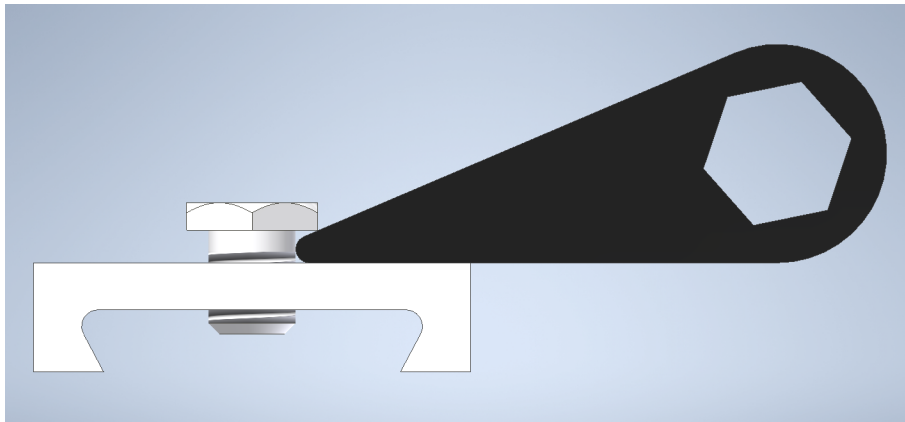
1. Odstranit z fotoaparátu objektiv/přední kryt
2. Nasadit nosnou část adaptéru na bajonetový spoj fotoaparátu. Otáčet po směru hodinových ručiček dokud se neozve cvaknutí



Obrázek 8.6: Nasazení nosné části na fotoaparát

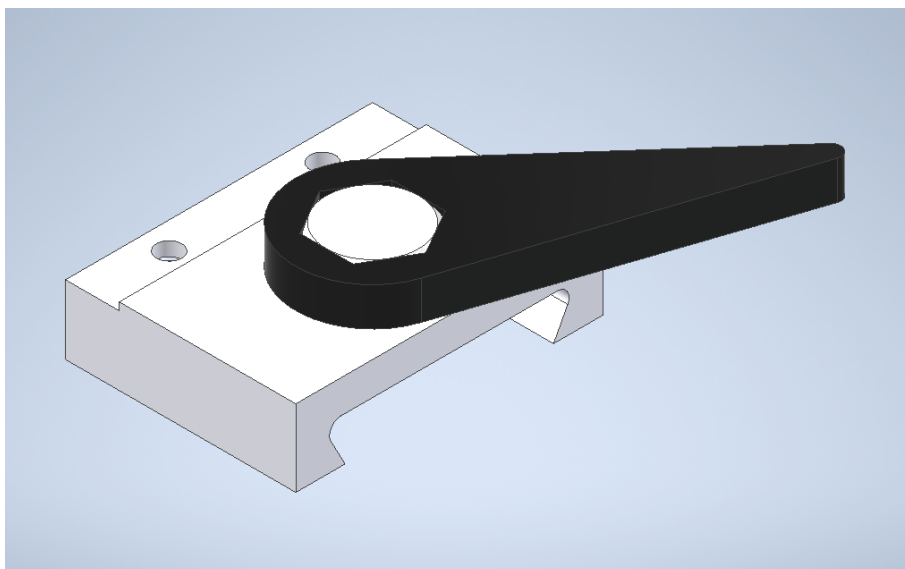


3. Upínací šroub zašroubovat do základny tak, aby pod hlavou zůstalo 6 mm.  
Při správné hloubce zašroubování lze pod hlavu šroubu vložit špičku páky a dotknout se jí dřívku šroubu (viz obrázek 8.7)



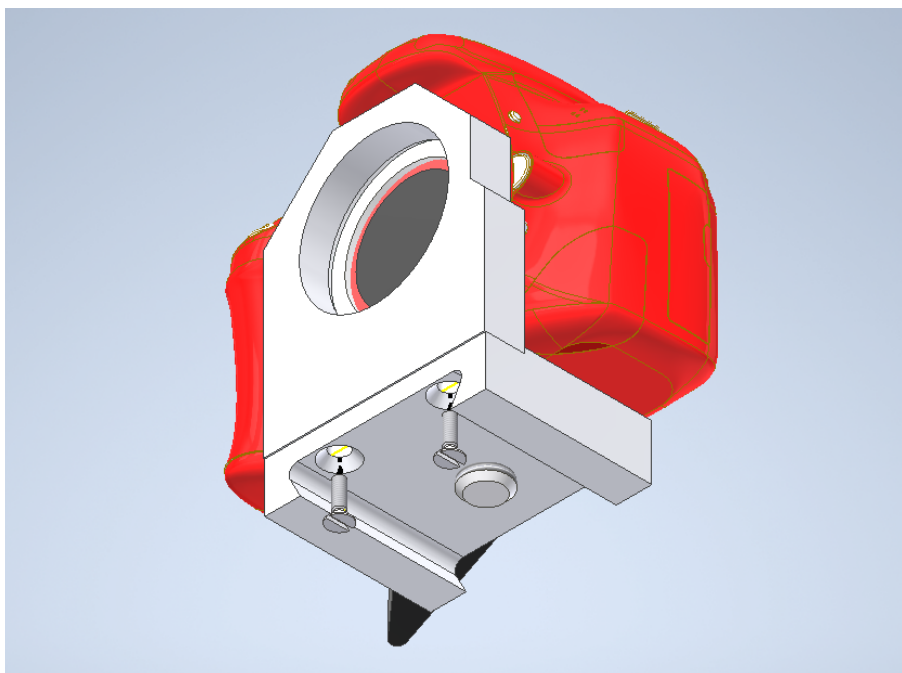
Obrázek 8.7: *Správná hloubka zašroubování upínacího šroubu*

4. Nasadit páku na upínací šroub



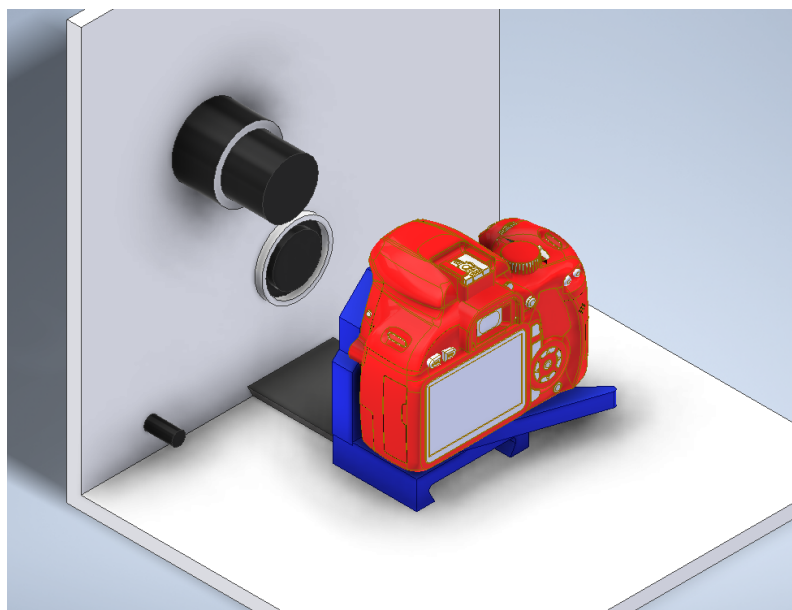
Obrázek 8.8: *Páka nasazená na upínací šroub*

5. Nosnou část přišroubovat k základně



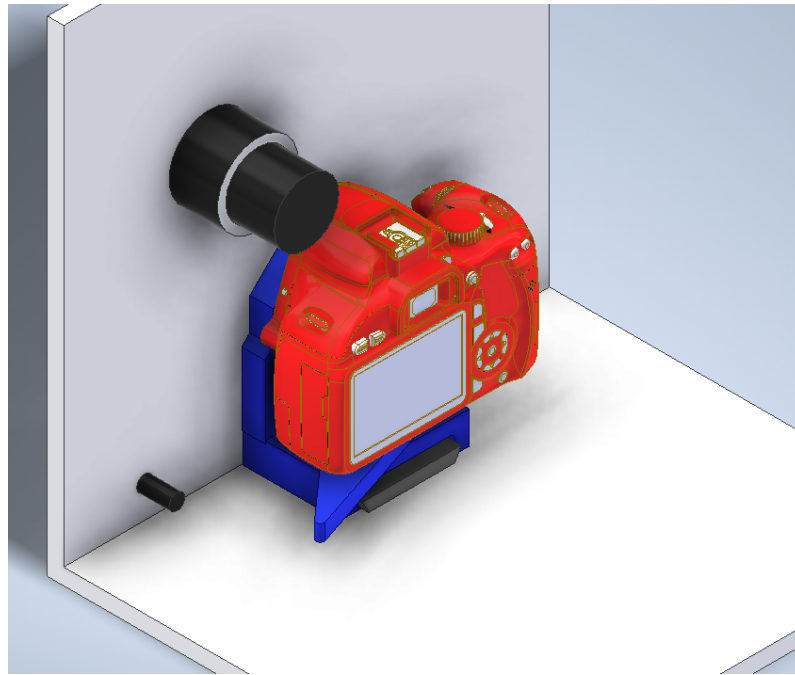
Obrázek 8.9: Přišroubování nosné části k základně

6. Nasadit adaptér na rybinu mikroskopu, dosunout na doraz k boku mikroskopu



Obrázek 8.10: Nasazení adaptéru na mikroskop

7. Při držení základny tahem za páku směrem k sobě utáhnout adaptér k mikroskopu



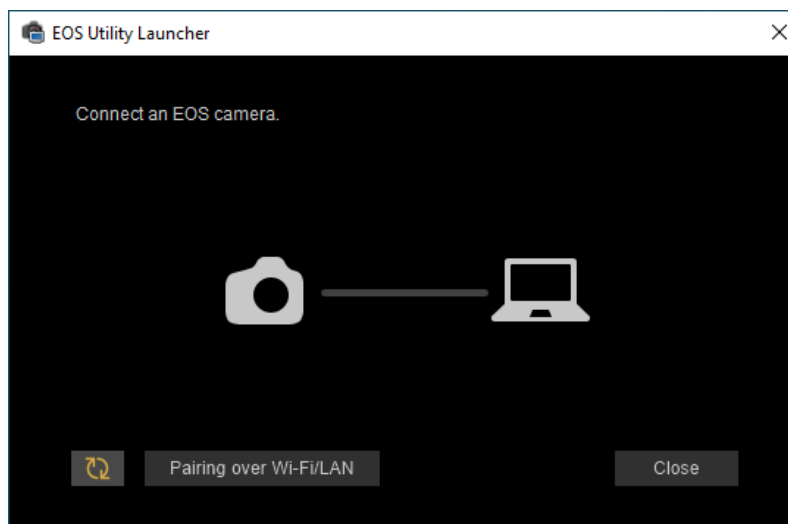
Obrázek 8.11: Konečná pozice po upnutí adaptéru k mikroskopu

Odepnutí je proces přesně opačný.

## 8.4 Pořizování snímků

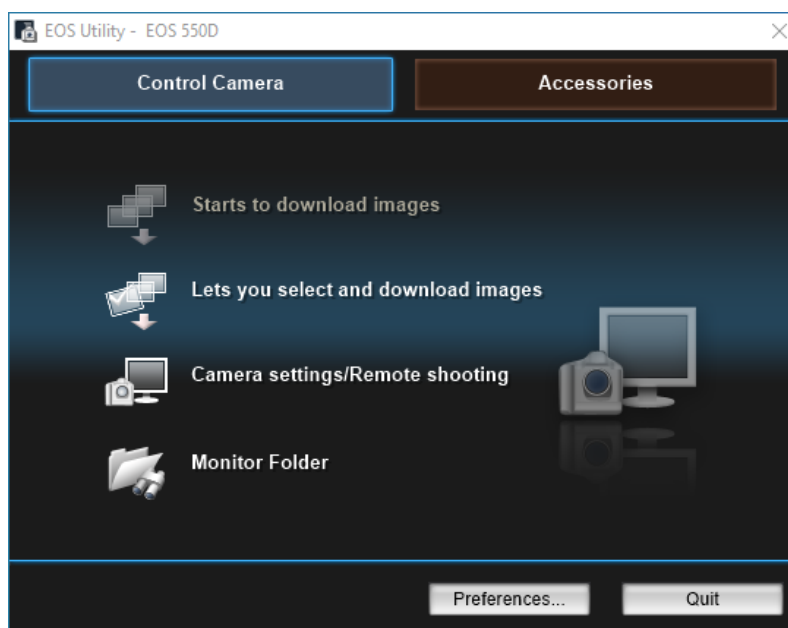
K ovládání fotoaparátu byl zvolen software EOS Utility vydávaný výrobcem fotoaparátu, společností Canon. Umožňuje stahovat obrázky uložené na paměťové kartě fotoaparátu, jednotlivě i hromadně, nastavovat fotoaparát, pořizovat snímky na dálku a ovládat přídatná zařízení. Zároveň je možné jej integrovat s dalšími softwary např. pro úpravu snímků. Po spuštění se objeví obrazovka na obrázku 8.12 vyzývající k připojení fotoaparátu. K tomu slouží USB kabel (v našem případě USB A – Mini USB) nebo u modernějších zařízení síť Wi-Fi. Po úspěšném spojení se ukáže obrazovka s výběrem funkcionality (obrázek 8.13). V horní části je na výběr mezi ovládáním foťáku a příslušenství. Pro fotoaparát jsou možnosti

- Stáhnout všechny snímky uložené ve fotoaparátu
- Stahovat snímky jednotlivě/podle výběru
- Nastavovat a ovládat fotoaparát
- Nahlížet do složky se snímky



Obrázek 8.12: Úvodní obrazovka programu EOS Utility

V dolní části okna pak máme možnost nastavení programu a ukončení.

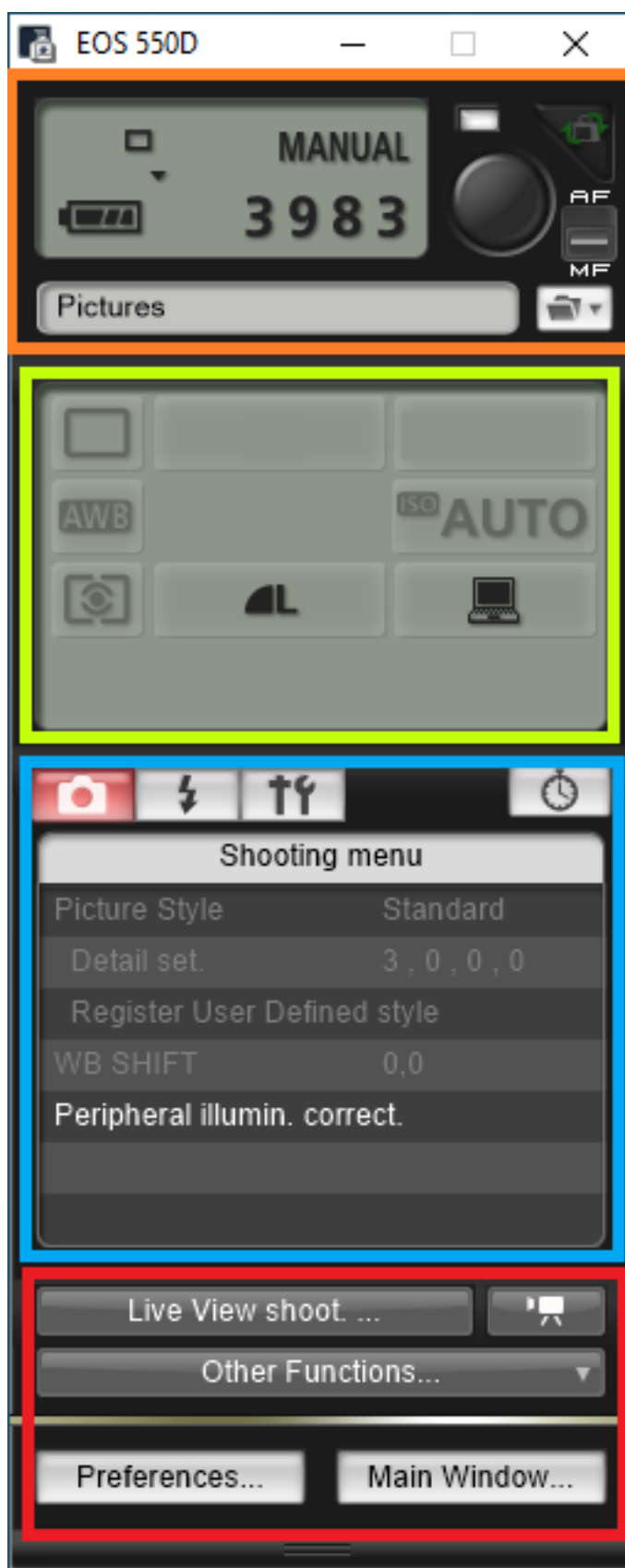


Obrázek 8.13: Okno výběru funkcionality

Výběr nastavování a ovládání fotoaparátu vede k ovládacímu oknu se čtyřmi oblastmi (obrázek 8.14). V oranžově označené části okna se nachází informace o stavu fotoaparátu (režim, zbývající baterie a počet snímků, automatické nebo manuální ostření), složka, kam jsou snímky ukládány, a v pravé části tlačítko pro pořízení snímku. Zeleně označená část ukazuje zvolené parametry snímku (citlivost ISO a dobu expozice, rozlišení snímku) a umožňuje je měnit. Modře označená část slouží k nastavení dalších parametrů snímku, k nastavení blesku a nastavení ovládacího systému fotoaparátu. Červená část pak slouží k přechodu do režimu živého náhledu, k pořizování videozáznamu, dalším nastavením (schéma číslování a pojmenovávání



snímků a jejich třízení do složek, časované série snímků, samospoušť) a k návratu do okna na obrázek 8.13. V režimu živého náhledu funguje obrazovka jako elektronický hledáček a nelze využívat automatického zaostřování.



Obrázek 8.14: Okno nastavování a ovládání fotoaparátu

## 9 Kontrolní výpočty

### 9.1 Zatížení adaptéru hmotností fotoaparátu

Na fotoaparát o hmotnosti  $m = 530$  g působí tíhová síla:

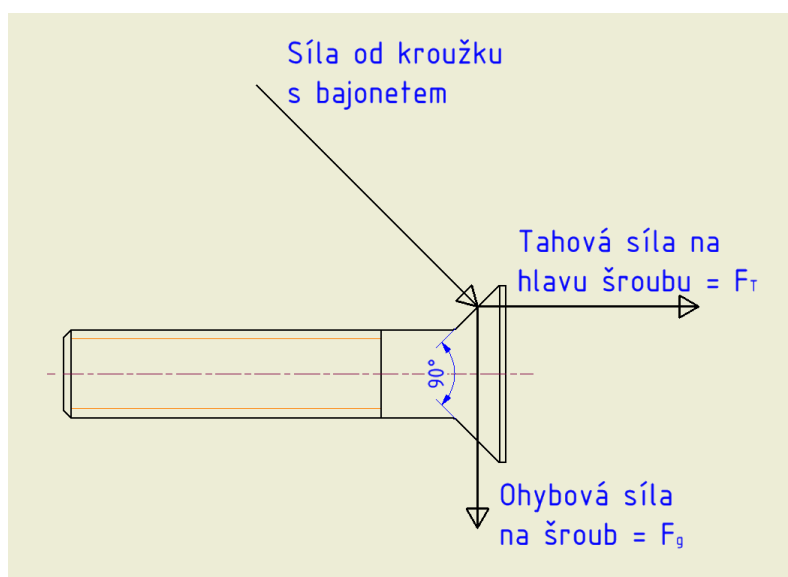
$$F_g = m \cdot g = 0,53 \cdot 9,81 = 5,2 \text{ N} \quad (1)$$

Působí na něj v těžišti, které se nachází ve svislé rovině procházející optickou osou ve vzdálenosti  $l = 30$  mm od dosedací stěny bajonetu. Při upnutí za něj tedy vyvolá moment:

$$M = F_g \cdot l = 5,2 \cdot 0,030 = 0,156 \text{ Nm} = 156 \text{ Nmm} \quad (2)$$

### 9.2 Šrouby kotouče s bajonetem

#### 9.2.1 Silové poměry



Obrázek 9.1: *Tahová síla na hlavu šroubu*

Čtyři šrouby přenášejí jak tíhovou sílu působící na fotoaparát, tak moment vzniklý jejím působením v těžišti. Nacházejí se na roztečné kružnici o poloměru  $r_1 = 30$  mm a vrcholový úhel kuželu jejich hlavy je  $\alpha_1 = 90^\circ$ . Pro zjednodušení budeme předpokládat, že celé zatížení nese právě hlava horního šroubu. Vzhledem k úhlu kuželu hlavy je tažná síla na šroub  $F_{T1}$  stejná, jako  $F_g$ , tedy 5,2 N (viz obrázek 9.1). Při sestavování adaptéru je očekáváno mnohem větší zatížení způsobené manuální manipulací. Předpokládáme tedy  $F_{T1} = 50$  N. Protože rameno této síly je větší než rameno tíhové síly ( $2 \cdot r_1 = 60 > l = 30$ ),  $F_{T1}$  dostatečně nese i

moment od hmotnosti fotoaparátu. Utahovací síla byla zvolena jako:

$$F_{U1} = 1 \cdot F_{T1} = 1 \cdot 50 = 50 \text{ N} \quad (3)$$

Utahovací moment se pak rovná:

$$M_{U1} = \frac{F_{U1} \cdot d_{12} \cdot \tan(\gamma_1 + \varphi'_1)}{2} \quad (4)$$

kde úhel stoupání:

$$\gamma_1 = \arctan\left(\frac{i_1 \cdot P_1}{\pi \cdot d_{12}}\right) = \arctan\left(\frac{1 \cdot 0,4}{\pi \cdot 1,740}\right) = 4,19^\circ$$

kde  $i_1$  je počet chodů závitu a  $P_1$  jeho rozteč, a třecí úhel :

$$\varphi'_1 = \arctan\left(\frac{f_1}{\cos(\beta_{n1})}\right) \quad (5)$$

$f_1$  je součinitel tření a  $\beta_{n1}$  je normálový úhel vrcholu závitu, spočítaný jako:

$$\beta_{n1} = \arctan(\tan \beta_1 \cdot \cos \gamma_1) = \arctan(\tan(30) \cdot \cos(4,19)) = 29,93^\circ$$

Po dosazení do rovnice (5) pak:

$$\varphi'_1 = \arctan\left(\frac{0,61}{\cos(29,93)}\right) = 35,14^\circ$$

Úhel stoupání i třecí úhel pak byl dosazen do rovnice (4):

$$M_{U1} = \frac{50 \cdot 1,740 \cdot \tan(4,19 + 35,14)}{2} = 35,64 \text{ Nmm} \quad (6)$$

### 9.2.2 Kontroly

Pro kontroly redukovaného napětí bylo zvoleno dovolené napětí  $\sigma_{MAX O} = 120$  MPa, podle strojnických tabulek. Pro kontrolu tlaku v závitech bylo zvoleno dovolené napětí  $\sigma_{MAX H} = 25$  MPa. Podle materiálového listu je mez kluzu hliníku AW-1050A 65 MPa, dovolené napětí bylo zvoleno jako zhruba třetina této hodnoty. Maximální tahové napětí v šroubu bylo spočítáno jako:

$$\sigma_1 = \frac{4(F_{T1} + F_{U1})}{\pi \cdot d_{13}^2} = \frac{4(25 + 25)}{\pi \cdot 1,509^2} = 55,92 \text{ MPa} \quad (7)$$



Napětí v krutu při dosažení předpětí lze spočítat jako:

$$\tau_1 = \frac{16 \cdot M_{U1}}{\pi \cdot d_{13}^3} = \frac{16 \cdot 35,64}{\pi \cdot 1,509^3} = 52,83 \text{ MPa} \quad (8)$$

Kontrola pro redukované napětí byla provedena pomocí hypotézy  $\tau_{max}$ :

$$\sigma_{1red} = \sqrt{\sigma_1^2 + 4 \cdot \tau_1^2} = \sqrt{55,92^2 + 4 \cdot 52,83^2} = 119,55 \text{ MPa} < \sigma_{MAX O} \quad (9)$$

Šroub splnil kontrolu napětí v jádře. Šroub splnil také kontrolu tlaku v závitech:

$$P_{1z} = \frac{F_{max1}}{A_{1z}} = \frac{4(F_{T1} + F_{U1})}{\pi \cdot (D_1^2 - d_{11}^2) \cdot \frac{l_{z1}}{P_1}} = \frac{4(50 + 50)}{\pi \cdot (2^2 - 1,567^2) \cdot \frac{3,8}{0,4}} = 8,68 \text{ MPa} < \sigma_{MAX H} \quad (10)$$

kde  $P_1 = 0,4 \text{ mm}$  je rozteč závitu a  $l_{z1} = 2,5 \text{ mm}$  je délka zašroubování.

### 9.3 Ohyb nosné části

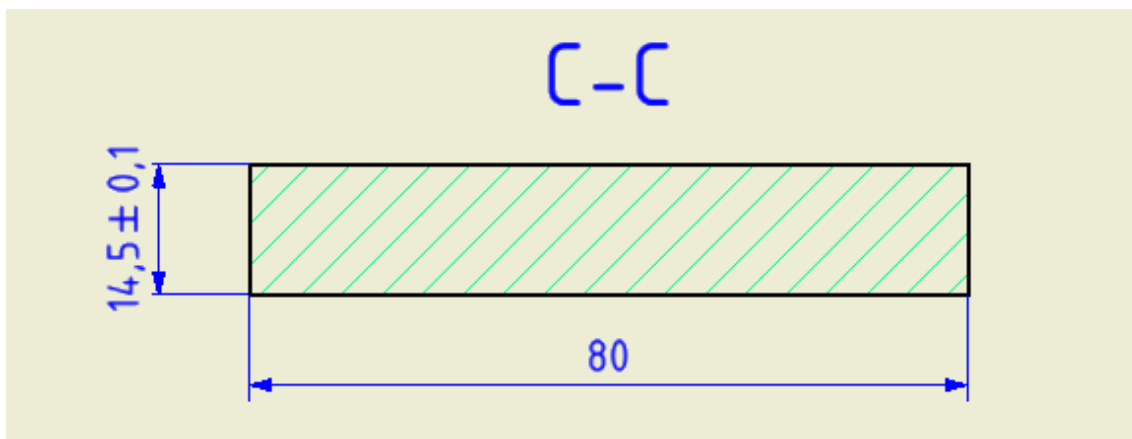
Moment vyvolaný hmotností fotoaparátu způsobuje ohýbání nohy adaptéru. Natočení odklání snímač fotoaparátu od roviny kolmé k optické ose výstupu mikroskopu. Následkem příliš velkého úhlu by mohla být neschopnost zaostřit obraz. Natočení bylo zjištěno pomocí Mohrova integrálu:

$$M_O(x) = F_g \cdot l_2 = 5,2 \cdot 37 = 192,4 \text{ Nmm}$$

$$m_O(x) = „1“$$

$$x : 0 - > 20 \text{ mm}$$

$$J_y = 20\,324 \text{ mm}^4$$



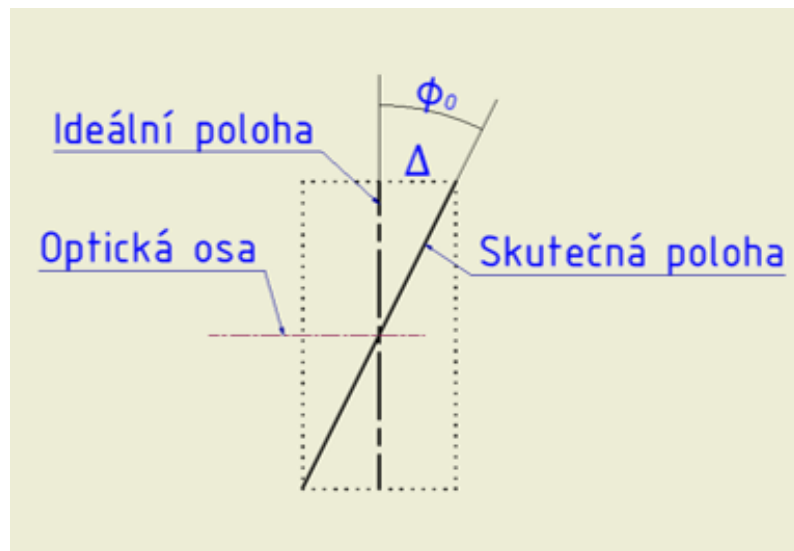
Obrázek 9.2: Průřez nohy sloupku nosné části. Řez C na výkrese B0294-02-002

$$\begin{aligned} \varphi_O &= \frac{1}{E \cdot J_y} \int_0^{20} M_O(x) \cdot m_O(x) dx = \frac{M_O}{E \cdot J} \int_0^{20} 1 dx = \\ &= \frac{192,4 \cdot 20}{70 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 324} = 2,71 \cdot 10^{-6} \text{ rad} = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ \end{aligned} \quad (11)$$

Výsledné posunutí okraje snímače, za předpokladu umístění středu snímače na optickou osu do roviny ostrosti, bylo spočítáno jako:

$$\Delta = \frac{h_s \cdot \sin(\varphi_O)}{2} = \frac{14,9 \cdot \sin(0,15 \cdot 10^{-3})}{2} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ mm} \quad (12)$$

kde  $h_s$  je výška snímače fotoaparátu (obrázek 9.3). Toto posunutí je menší než deformace způsobené změnami teploty, je tedy příliš malé než aby neovlivnilo kvalitu výsledných snímků.

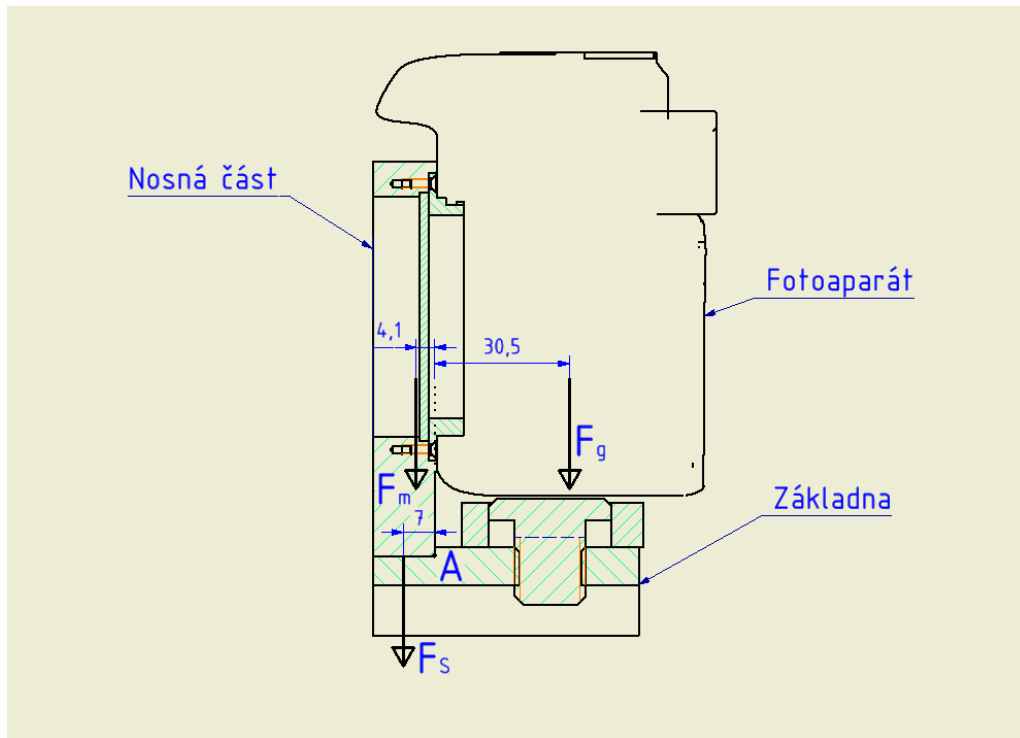


Obrázek 9.3: Diagram natočení snímače vlivem ohybu adaptéru

## 9.4 Šroubový spoj základny a nosné části

### 9.4.1 Silové poměry

Tyto šrouby zachytávají sílu, která musí vyrovnávat moment vzniklý umístěním těžiště fotoaparátu na rameni  $r_f = 30,5$  mm okolo bodu A. Proti němu působí moment, vyvolaný tíhou nosné části adaptéru s hmotností  $m_n = 85$  g na rameni  $r_n = 8$  mm. Síla ve spoji působí na rameni  $r_s = 7$  mm (obrázek 9.4).



Obrázek 9.4: Diagram sil vyvolávajících moment, který zachycuje síla ve šroubovém spoji nosné části a základny

Zatěžovací síla ve spoji byla spočítána jako:

$$F_S = \frac{F_g \cdot r_f - m_n \cdot g \cdot r_n}{r_s} = \frac{5,2 \cdot 0,0305 - 0,203 \cdot 9,81 \cdot 0,0041}{0,007} = 21,49 \text{ N} \quad (13)$$

Předpokládáno bude ale větší zatížení  $F_S = 100 \text{ N}$  vycházející z manuální manipulace při upínání adaptéru. Utahovací síla a moment se pak rovnají:

$$F_{U2} = 1,2 \cdot F_S = 1,2 \cdot 100 = 120 \text{ N}$$

$$M_{U2} = \frac{F_{U2} \cdot d_{22} \cdot \tan(\gamma_2 + \varphi'_2)}{2} \quad (14)$$

kde úhel stoupání:

$$\gamma_2 = \arctan\left(\frac{i_2 \cdot P_2}{\pi \cdot d_{22}}\right) = \arctan\left(\frac{1 \cdot 1}{\pi \cdot 5,350}\right) = 3,40^\circ$$

kde  $i_2$  je počet chodů závitů a  $P_2$  je jeho rozteč, a třecí úhel:

$$\varphi'_2 = \arctan\left(\frac{f_2}{\cos(\beta_{n2})}\right) \quad (15)$$

$f_2$  je součinitel tření a  $\beta_{n2}$  je normálový úhel vrcholu závitů, spočítaný jako:

$$\beta_{n2} = \arctan(\tan \beta_2 \cdot \cos \gamma_2) = \arctan(\tan 30 \cdot \cos 3,40) = 29,96^\circ$$

Po dosazení do rovnice (15) pak:

$$\varphi'_2 = \arctan \left( \frac{0,61}{\cos(29,96)} \right) = 35,15^\circ$$

Úhel stoupání i třecí úhel pak byl dosazen do rovnice (14):

$$M_{U2} = \frac{120 \cdot 5,350 \cdot \tan(3,40 + 35,15)}{2} = 255,79 \text{ Nmm} \quad (16)$$

#### 9.4.2 Kontroly

Pro kontroly redukovaného napětí bylo zvoleno dovolené napětí  $\sigma_{MAX O} = 120$  MPa, podle strojnických tabulek. Pro kontrolu tlaku v závitech bylo zvoleno dovolené napětí  $\sigma_{MAX H} = 25$  MPa. Podle materiálového listu je mez kluzu hliníku AW-1050A 65 MPa, dovolené napětí bylo zvoleno jako zhruba třetina této hodnoty. Maximální tahové napětí v šroubu bylo spočítáno jako:

$$\sigma_2 = \frac{4(F_S + F_U)}{\pi \cdot d_{23}^2} = \frac{4(100 + 120)}{\pi \cdot 4,773^2} = 12,30 \text{ MPa} \quad (17)$$

Napětí v krutu při dosažení předpětí lze spočítat jako:

$$\tau_2 = \frac{16 \cdot M_{U2}}{\pi \cdot d_{23}^3} = \frac{16 \cdot 255,79}{\pi \cdot 4,773^3} = 11,98 \text{ MPa} \quad (18)$$

Kontrola pro redukované napětí byla provedena pomocí hypotézy  $\tau_{max}$ :

$$\sigma_{2red} = \sqrt{\sigma_2^2 + 4 \cdot \tau_2^2} = \sqrt{12,30^2 + 4 \cdot 11,98^2} = 26,93 \text{ MPa} < \sigma_{MAX O} \quad (19)$$

Šroub splnil kontrolu napětí v jádře. Šroub splnil také kontrolu tlaku v závitech:

$$P_{2z} = \frac{F_{max2}}{A_{2z}} = \frac{4(F_S + F_U)}{\pi \cdot (D_2^2 - d_{21}^2) \cdot \frac{l_{Z2}}{P_2}} = \frac{4(100 + 120)}{\pi \cdot (6^2 - 4,917^2) \cdot \frac{8,9}{1}} = 2,66 \text{ MPa} < \sigma_{MAX H} \quad (20)$$

kde,  $l_{Z2}$  je délka zašroubování, a opěrná plocha v základně byla zkontrolována na stříh:

$$\tau_s = \frac{F_{max2}}{A_s} = \frac{4(F_S + F_U)}{\pi \cdot D_h \cdot t} = \frac{4(100 + 120)}{\pi \cdot 12 \cdot 6,3} = 3,71 \text{ MPa} < \sigma_{MAX H} \quad (21)$$

kde  $D_h$  je průměr hlavy šroubu a  $t$  je tloušťka materiálu. Tato kontrola byla splněna.

## 9.5 Upínací šroub

Upínací šroub musí překonat hmotnost fotoaparátu a adaptéru, utahovací síla se tedy bude rovnat maximální síle:

$$F_{U3} = 2,5 \cdot (m_f + m_a) \cdot g = 2,5 \cdot (0,530 + 0,325) \cdot 9,81 = 20,97 \text{ N} \quad (22)$$

a utahovací moment:

$$M_{U3} = \frac{F_{U3} \cdot d_{32} \cdot \tan(\gamma_3 + \varphi'_3)}{2} \quad (23)$$

kde úhel stoupání:

$$\gamma_3 = \arctan\left(\frac{i_3 \cdot P_3}{\pi \cdot d_{32}}\right) = \arctan\left(\frac{1 \cdot 2}{\pi \cdot 14,701}\right) = 2,48^\circ$$

$i_3$  je počet chodů závitu a  $P_3$  jeho rozteč, a třecí úhel:

$$\varphi'_3 = \arctan\left(\frac{f_3}{\cos(\beta_{n3})}\right) \quad (24)$$

kde  $f_3$  je součinitel tření a  $\beta_{n3}$  je normálový úhel vrcholu závitu, spočítaný jako:

$$\beta_{n3} = \arctan(\tan \beta_3 \cdot \cos \gamma_3) = \arctan(\tan 30 \cdot \cos 2,48) = 29,98^\circ$$

Po dosazení do rovnice (24) pak:

$$\varphi'_3 = \arctan\left(\frac{0,61}{\cos(29,98)}\right) = 35,15^\circ$$

Úhel stoupání i třecí úhel pak byl dosazen do rovnice (23):

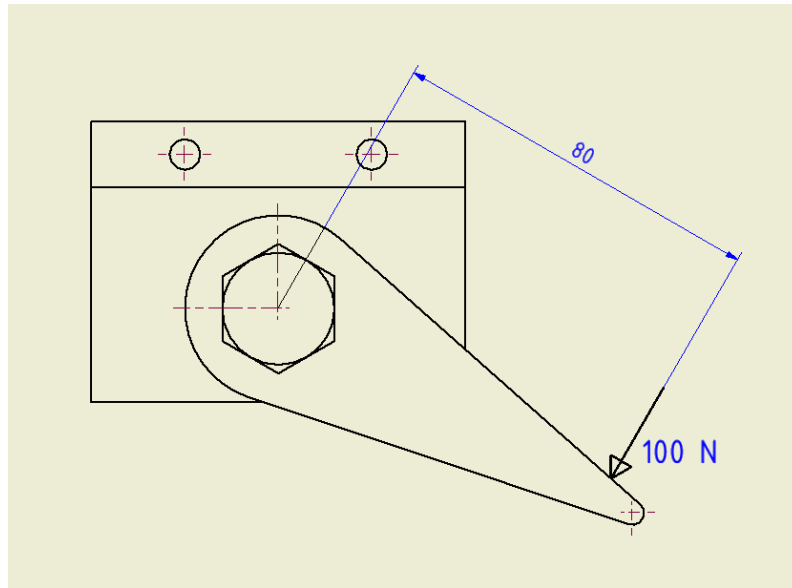
$$M_{U3} = \frac{20,97 \cdot 14,701 \cdot \tan(2,48 + 35,15)}{2} = 118,83 \text{ Nmm} \quad (25)$$

Vypočtený utahovací moment je teoreticky dosažitelný, v praxi však bude adaptér upínán ručně a nelze jej tak zaručit. Předpokládá se, že obsluha vyvolá na páku sílu až 100 N a moment:

$$M_{U3}^* = 100 \cdot 80 = 8000 \text{ Nmm} \quad (26)$$

a upínací sílu:

$$F_{U3}^* = \frac{2 \cdot M_{U3}^*}{d_{32} \cdot \tan(\gamma_3 + \varphi'_3)} = \frac{2 \cdot 8000}{14,701 \cdot \tan(2,48 + 35,15)} = 1411,74 \text{ N} \quad (27)$$



Obrázek 9.5: *Skica momentu na upínací páku a šroub při upínání*

### 9.5.1 Kontroly

Pro kontroly redukovaného napětí bylo zvoleno dovolené napětí  $\sigma_{MAX O} = 120$  MPa, podle strojnických tabulek. Pro kontroly tlaku v závitech bylo zvoleno dovolené napětí  $\sigma_{MAX H} = 25$  MPa. Podle materiálového listu je mez kluzu hliníku AW-1050A 65 MPa, dovolené napětí bylo zvoleno jako zhruba třetina této hodnoty. Maximální tahové napětí v šroubu bylo spočítáno jako:

$$\sigma_3 = \frac{4 \cdot F_{U3}}{\pi \cdot d_{33}^2} = \frac{4 \cdot 1\,412}{\pi \cdot 13,546^2} = 9,80 \text{ MPa} \quad (28)$$

Napětí v krutu při dosažení předpětí lze spočítat jako:

$$\tau_3 = \frac{16 \cdot M_{U3}}{\pi \cdot d_{33}^3} = \frac{16 \cdot 8\,000}{\pi \cdot 13,546^3} = 16,39 \text{ MPa} \quad (29)$$

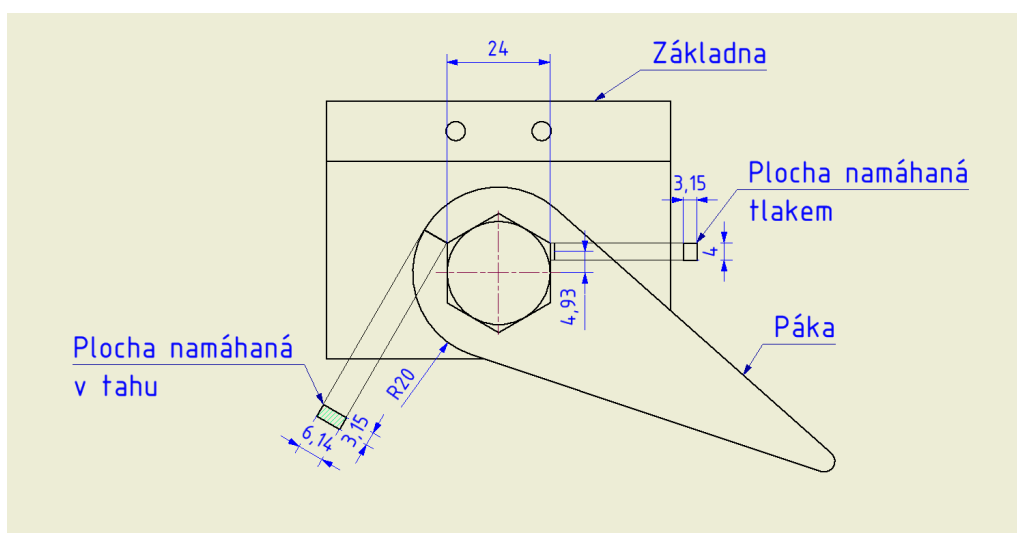
Kontrola pro redukované napětí je za tak nízkých hodnot zbytečná, šroub by ji snadno splnil. Šroub splnil také kontrolu tlaku v závitech:

$$\begin{aligned} P_{3z} = \frac{F_{max3}}{A_{3z}} &= \frac{4 \cdot F_{U3}}{\pi \cdot (D_3^2 - d_{31}^2) \cdot \frac{l_{Z3}}{P_3}} = \frac{4 \cdot 1\,412}{\pi \cdot (16^2 - 13,835^2) \cdot \frac{8,6}{2}} = \\ &= 6,47 \text{ MPa} < \sigma_{MAX3Z} \end{aligned} \quad (30)$$

## 9.6 Utahovací páka

Utahovací páka musí vydržet utahovací moment upínacího šroubu  $M_{U3}^* = 8\,000$  Nmm. Předpokládaná tlaková síla na rohy na rameni  $r_o = 6,928$  mm je:

$$F_T = \frac{M_{U3}}{6 \cdot r_o} = \frac{8\,000}{6 \cdot 4,928} = 271 \text{ N} \quad (31)$$



Obrázek 9.6: Diagram ramene tlakové síly na páce a plochy na které tato síla působí a plochy odporující roztržení páky (plocha namáhaná tahem)

### 9.6.1 Kontroly

Pro kontroly tlaku i roztržení páky bylo zvoleno dovolené napětí  $\sigma_{MAX H} = 25$  MPa. Podle materiálového listu je mez kluzu hliníku AW-1050A 65 MPa, dovolené napětí bylo zvoleno jako zhruba třetina této hodnoty. Páka je namáhána tlakem v rohu šestihranu, síla  $F_T$  působí na obdélníkovou plochu o rozměrech  $a = 3,15$  mm (výška hlavy šroubu) a  $b = 4$  mm (obr. 9.6). Hodnota  $b$  byla zvolena na základě pozorování namáhání šestihranných klíčů.

$$\sigma_{t1} = \frac{F_T}{S} = \frac{271}{3,15 \cdot 4} = 21,51 \text{ MPa} < \sigma_{MAX H} \quad (32)$$

Plocha namáhaná tahem je několikrát větší, proto bude namáhána menším napětím. Tato kontrola proto nebyla provedena.

## 9.7 Rybinový spoj

Síla, působící na rybinový spoj odpovídá utahovací síle upínacího šroubu a vyvolává třecí sílu:

$$T = F_{U3} \cdot f = 1\,412 \cdot 0,75 = 1\,059 \text{ N} \quad (33)$$

Důležitý je výpočet ohybového momentu působícího na bok rybiny:

$$M_{OR} = \frac{F_{U3}^* \cdot r_R}{2} = \frac{1\,412 \cdot 6,6}{2} = 4\,660 \text{ Nmm} \quad (34)$$

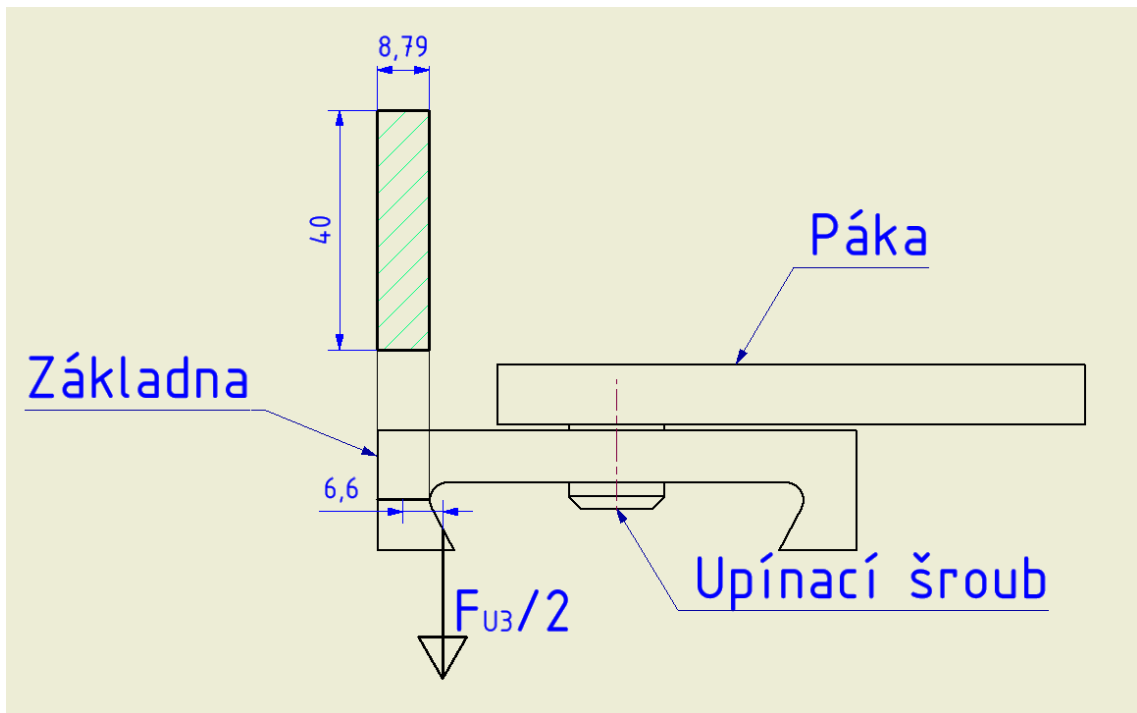
kde  $r_R$  je rameno síly působící na bok v polovině kontaktní plochy rybiny (viz obr. 9.7). Modul průřezu v ohybu spočítáme z tloušťky boku  $b_R$  a délky rybiny  $l_R$  jako:

$$W_O = \frac{l_R \cdot b_R^2}{6} = \frac{40 \cdot 8,79^2}{6} = 515,09 \text{ mm}^3 \quad (35)$$

Kontrola odlomení boku rybiny je pak:

$$\sigma_{Rmax} = \frac{M_{OR}}{W_O} = \frac{4\,660}{515,09} = 9,05 \text{ MPa} \quad (36)$$

$\sigma_{Rmax}$  je menší než dovolené napětí  $\sigma_D = 25 \text{ MPa}$ , kontrola tedy byla splněna. Podle materiálového listu je mez kluzu hliníku AW-1050A 65 MPa, dovolené napětí bylo zvoleno jako zhruba třetina této hodnoty.



Obrázek 9.7: Diagram síly působící na bok rybinového spoje a jejího ramene, modře je zvýrazněna tloušťka materiálu  $b_R$



## 10 Závěr

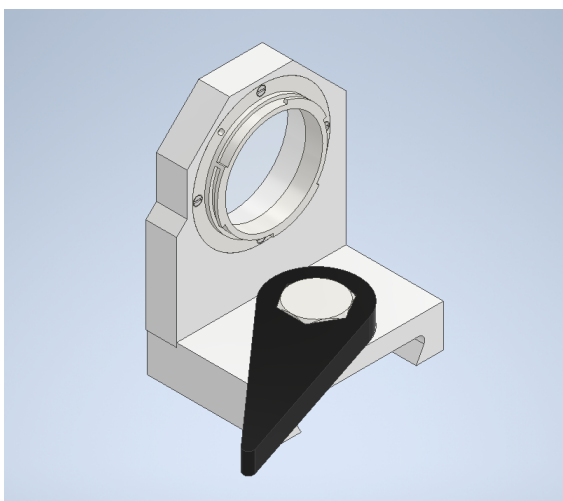
Cílem práce bylo navrhnout a zkonstruovat pevný adaptér mezi metalografický mikroskop Zeiss Neophot 32 a DSLR fotoaparát Canon EOS 550D. Byly zadány hlavní požadavky - zaostřitelnost obrazu, opakovatelnost ustavení fotoaparátu, nesení jeho hmotnosti a ochrana snímače fotoaparátu. Navrhované řešení mělo využívat makroobjektivu Canon EF 100 mm f/2.8 Macro USM k pořízování snímků matnice mikroskopu. Bylo navrženo několik variant a zvolena jedna, která byla následně rozpracována do podoby hotové konstrukce.

V rešeršní části práce došlo k seznámení s metalografickými metodami a mikroskopy. Několik moderních metalografických mikroskopů bylo srovnáno s mikroskopem Neophot 32, zvláště z pohledu pozorovacích schopností a možnosti pořizovat digitální snímky. Byl také popsán používaný fotoaparát, princip jeho fungování a dostupné možnosti jeho adaptování k mikroskopu.

Po provedení rešerše byly navrženy čtyři varianty řešení. Po srovnání plnění požadavků byla vybrána nejlepší varianta, která byla dále rozvinuta. Zvolená varianta sice nevyužívá makroobjektivu k fotografování matnice mikroskopu ale poskytuje nejlepší obraz a zároveň nepřekáží obsluze. Z navrhovaných je také nejvíce tuhá.

Nejprve byl navrhnout způsob upínání adaptéru k mikroskopu pomocí základny s rybinovým spojem a upínacím šroubem s pákovým ovládním. Následně byla navržena nosná část adaptéru, její spojení se základnou adaptéru a bajonetový spoj s fotoaparátem a krycím sklíčkem pro ochranu snímače. Byl popsán proces upínání a odepínání. Navržen byl software pro ovládní fotoaparátu.

Byly provedeny kontrolní výpočty napětí a deformací a ověření zaostřitelnosti obrazu. Následně byl adaptér vymodelován v programu Autodesk Inventor 2023 a k sestavě a hlavním částem byla zhotovena výkresová dokumentace.



Obrázek 10.1: *Model finální konstrukce*

## Seznamy

### Seznam obrázků

5.1	Manuální bruska QPOL 250 M2 [9]	15
5.2	Zobrazení prohlubní na hranicích zrn vzniklých naleptáním	16
5.3	Tři úrovně výbavy mikroskopu Axio Observer [14]	17
5.4	Verze A mikroskopu DMi8 [8]	18
5.5	Mikroskop VE-407 s instalovanou trinokulární hlavou [13]	19
5.6	Mikroskop BA-310 MET trinokulární hlavou [10]	20
5.7	Mikroskop Neophot 32	21
5.8	Schéma optického systému mikroskopu Neophot 32 [7]	22
5.9	Objektivový revolver	23
5.10	Stavebnice mf-AKS pro mikrofotografii [7]	23
5.11	Schéma obrazovky (černě) a klávesnice osvitové automatiky [7]	24
5.12	Druhá zásuvka skříňky na příslušenství [7]	25
5.13	Schéma funkce DSLR fotoaparátu [3]	26
5.14	Bajonet EF/ EF-S	27
5.15	Mikroskop s adaptérem na fotoaparát Nikon [4]	28
6.1	Matnice mikroskopu a její okolí	29
7.1	Skica upevnění fotoaparátu pomocí magnetického stojánku a matice	30
7.2	Skica upevnění fotoaparátu pomocí obruče kolem matnice a šroubu	31
7.3	Skica upevnění fotoaparátu pomocí obruče kolem matnice a kolem objektivu	32
7.4	Mikrofotografický výstup mf	33
7.5	Srovnání kvality snímků pořízených fotografováním matnice a přímým osvětováním snímače z mf výstupu. Snímek matnice vykazuje zrnitost, barevné vady a podstatně nižší ostrost a kontrast. Zvětšení 25x	33
7.6	Skica upnutí - rybina je součástí mikroskopu	34
8.1	Rozpad sestavy adaptéru	37
8.2	Základna adaptéru	38
8.3	Upínací šroub s pákou	38
8.4	Rozpad nosné části	39
8.5	Schéma optické cesty	40
8.6	Nasazení nosné části na fotoaparát	40
8.7	Správná hloubka zašroubování upínacího šroubu	41
8.8	Páka nasazená na upínací šroub	41



8.9	Přišroubování nosné části k základně . . . . .	42
8.10	Nasazení adaptéru na mikroskop . . . . .	42
8.11	Konečná pozice po upnutí adaptéru k mikroskopu . . . . .	43
8.12	Úvodní obrazovka programu EOS Utility . . . . .	44
8.13	Okno výběru funkcionality . . . . .	44
8.14	Okno nastavování a ovládání fotoaparátu . . . . .	46
9.1	Tahová síla na hlavu šroubu . . . . .	47
9.2	Průřez nohy sloupku nosné části. Řez C na výkrese B0294-02-002 . . .	49
9.3	Diagram natočení snímače vlivem ohybu adaptéru . . . . .	50
9.4	Diagram sil vyvolávajících moment, který zachycuje síla ve šroubovém spoji nosné části a základny . . . . .	51
9.5	Skica momentu na upínací páku a šroub při upínání . . . . .	54
9.6	Diagram ramene tlakové síly na páce a plochy na které tato síla působí a plochy odporující roztrhnutí páky (plocha namáhaná tahem) . . . .	55
9.7	Diagram síly působící na bok rybinového spoje a jejího ramene, modře je zvýrazněna tloušťka materiálu $b_R$ . . . . .	56
10.1	Model finální konstrukce . . . . .	57

## Seznam tabulek

5.1	Fyzické vlastnosti mikroskopu Axio Observer 7 [14]	17
5.2	Fyzické vlastnosti mikroskopu DMi8 [8]	18
5.3	Fyzické vlastnosti mikroskopu VE-407 [13]	19
5.4	Fyzické vlastnosti mikroskopu BA-310 MET - T [10]	20
5.5	Fyzické vlastnosti mikroskopu Neophot 32 [7]	21
5.6	Fyzické vlastnosti objektivu [1]	28
7.1	Body získané variantami v jednotlivých kategoriích a celkové skóre	36

## Seznam použité literatury

- [1] Canon. *Canon EF 100mm f/2.8 Macro USM*. [online] [cit. 24.10. 2023] Dostupný z WWW: <https://www.canon.cz/lenses/ef-100mm-f-2-8-macro-usm-lens/>.
- [2] Canon. *CANON EOS 550D*. [online] [cit. 9.10. 2023] Dostupný z WWW: [https://www.canon.cz/for\\_home/product\\_finder/cameras/digital\\_slr/eos\\_550d/](https://www.canon.cz/for_home/product_finder/cameras/digital_slr/eos_550d/).
- [3] Cburnett. *Cross-section of SLR Lens assembly*. [online] [cit. 24.10. 2023] Dostupný z WWW: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a0/SLR\\_cross\\_section.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a0/SLR_cross_section.svg).
- [4] FEL ČVUT. *Laboratoř mikroskopie*. [online] [cit. 24.10. 2023] Dostupný z WWW: <https://technology.fel.cvut.cz/laboratore/laborator-mikroskopie/>.
- [5] Fuad Hasan. *Canon EOS Rebel T2i*. [online] [cit. 10.12. 2023] Dostupný z WWW: <https://grabcad.com/library/canon-eos-rebel-t2i-2>.
- [6] REVELL Jeff. *Canon EOS 550D*. 1. vydání. Brno: Computer Press, a.s., 2010, s. 173. ISBN: 978-80-251-3287-6.
- [7] Zeiss Jena. *Manuál pro mikroskop Zeiss Neophot 32*.
- [8] Leica. *Leica DMi8 M / C / A*. [online] [cit. 20.10. 2023] Dostupný z WWW: <https://www.leica-microsystems.com/products/light-microscopes/p/leica-dmi8-id/>.
- [9] Metalco. *QPOL 250 M2 (SAPHIR 250 M2)*. [online] [cit. 8.10. 2023] Dostupný z WWW: <https://www.metalco.cz/rucni-brusky-a-lesticky/qp-250-m2--saphir-250-m2/>.
- [10] INTRACO MICRO. *Metalografický mikroskop BA-310 MET Trino*. [online] [cit. 22.10. 2023] Dostupný z WWW: <https://www.mikroskopy-optika.cz/produkt/metalograficky-mikroskop-ba-310-met-trino-led>.
- [11] JONŠTA Petr, HRUBÝ Vojtěch a SILBERNAGEL Arnošt. *Praktická metalografie*. 1. vydání. Ostrava: KOVOSIL Ostrava, 2008, s. 173. ISBN: 978-80-903694-3-6.
- [12] PIHAN Roman. *Mistrovství práce s DSLR*. 1. vydání. Praha: Institut Digitální Fotografie s.r.o., 2006, s. 230. ISBN: 80-903210-8-9.



- [13] VELAB. *VE-407 Trinocular Inverted Metallurgical Microscope*. [online] [cit. 22.10. 2023] Dostupný z WWW: <https://www.velab.net/products/ve-407-inverted-metallographic-microscope-advanced>.
- [14] Zeiss. *ZEISS Axio Observer for Materials*. [online] [cit. 20.10. 2023] Dostupný z WWW: <https://www.zeiss.com/microscopy/en/products/light-microscopes/widefield-microscopes/axio-observer-for-materials.html>.
- [15] Carl Zeiss. *Camera Assistant*. [online] [cit. 6.10. 2023] Dostupný z WWW: <https://www.micro-shop.zeiss.com/en/ts/shop/cameraAssistant>.

## Seznam příloh

Elektronické:

- BP0294-01-001 – Sestavný výkres adaptéru
- BP0294-01-002 – Výrobní výkres základny
- BP0294-01-003 – Výrobní výkres upínacího šroubu
- BP0294-01-004 – Výrobní výkres utahovací páky
- BP0294-02-001 – Sestavný výkres nosné části
- BP0294-02-002 – Výrobní výkres sloupku nosné části
- BP0294-02-003 – Krycí sklo nosné části
- 1050A – materiálový list hliníku EN AW-1050A